

**INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO
PRI BIOTEHNIŠKI FAKULTETI V LJUBLJANI**

JANKO KALAN

**UVAJANJE IN IZPOPOLNJEVANJE
METOD ZA UGOTAVLJANJE
NEKATERIH ŠKODLJIVIH SNOVI
V RASTLINSKIH TKIVIH**

Raziskovalna naloga

Ljubljana 1990

DK a K. 6. v malozj

e-384

Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Janko KALAN

UVAJANJE IN IZPOPOLNJEVANJE METOD ZA UGOTAVLJANJE NEKATERIH
ŠKODLJIVIH SNOVI V RASTLINSKIH TKIVIH

Raziskovalna naloga

Ljubljana, 1990



e 384/1990

Nosilec naloge: Janko KALAN, dipl.ing.gozd.,
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Sodelavci: Primož SIMONČIČ, dipl.ing.les.,
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Mihej URBANČIČ, dipl.ing.gozd.,
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Vid MIKULIČ, dipl.ing.gozd.,
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Alfred FÜRST, ing.,
Forstliche Bundesversuchsanstalt, Dunaj

mag.Nada PEZDIRC, prof.kem.
Šumarski inštitut, Jastrebarsko

Tehnični sodelavci: Jolanda JAKONČIČ
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Breda KREGAR
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Lojze GRUBELNIK
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Irena TAVČAR
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Izvleček

KALAN, Janko: UVAJANJE IN IZPOPOLNJEVANJE METOD ZA UGOTAVLJANJE ŽVEPLA V RASTLINSKIH TKIVIH

Povzročitelji poškodb gozdnega drevja so lahko tudi škodljive snovi, s katerimi je onesnaženo okolje. Obremenjenost okolja z nekaterimi škodljivimi snovmi ugotavljamo z metodo bioindikacije. Proučevane so bile možnosti bioindikacije onesnaženosti gozdov z žveplom in fluorom. Rezultati raziskav so prikazani v posameznih sestavkih tega poročila.

Ključne besede: onesnaženost zraka, žveplo, fluor, poškodbe gozdov, bioindikacija

Abstract

KALAN, Janko: INNTRDUCING AND IMPROVING OF THE METHODS FOR THE ESTABLISHING OF SULPHUR IN PLANT TISSUES

Noxious substances polluting the environment can also be forest tree damage inducers. The strain of some noxious substances upon the environment is established by means of a bioindication method. The possibilities of the bioindication as to the pollution of forests with sulphur and fluorine were studied. The individual articles of this report present the results of the research.

Key words: air pollution, sulphur, fluorine, forest damage, bioindication

1 UVODNA POJASNILA	1
2 O UGOTAVLJANJU IMISIJE ŽVEPLA IN FLUORA V GOZDU	4
Izvleček	5
Synopsis	5
2.1 UVOD	6
2.2 METODE DE LA	6
2.3 IZSLEDKI IN OBRAVNAVA	7
2.4 SKLEPI	8
2.5 POVZETEK	9
2.6 ZUSAMMENFASSUNG	9
2.7 LITERATURA	10
3 OBREMENJENOST SLOVESNKIH GOZDOV Z ŽVEPLOM	12
Izvleček	13
Synopsis	13
3.1 UVOD	14
3.2 METODE PROUČEVANJA	14
3.2.1 NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO	14
3.2.2 LABORATORIJSKO DELO	15
3.2.3 IZVREDNOTENJE ANALIZNIH REZULTATOV O VSEBNOSTI ŽVEPLA V IGLICAH	16
3.3 OCENA OBREMENJENOSTI SLOVENSNIH GOZDOV Z ŽVEPLOM	17
3.4 ZAKLJUČEK	29
3.5 POVZETEK	29
3.6 SUMMARY	31
3.7 LITERATURA	32
4 KORELACIJA ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURAMA SULMHOMAT 12-ADG IN LECO SC-312	33
Izvleček	34
Synopsis	34
4.1 UVOD	35
4.2 METODE PROUČEVANJA IN REZULTATI	35
4.2.1 PRIPRAVA VZORCEV ZA ANALIZO	35
4.2.2 DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG	36
4.2.3 DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO LECO SC-132	36
4.2.4 STANDARDIZIRANJE ANALIZNEGA POSTOPKA ZA DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG	37
4.2.5 PREVERJANJE NATANČNOSTI ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG	37

4.2.6 KORELACIJA ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURAMA SULMHOMAT 12-ADG IN LECO SC-132	40
4.3 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI	42
4.4 POVZETEK	45
4.5 ZUSAMMENFASSUNG	47
4.6 LITERATURA	49
5 OBREMENJENOST GOZDOV Z ŽVEPLOM L.1989	50
Izvleček	51
Synopsis	51
5.1 UVOD	52
5.2 METODE PROUČEVANJA	52
5.3 REZULTATI IN RAZPRAVA	53
5.4 POVZETEK	61
5.5 ZUSAMMENFASSUNG	62
5.6 LITERATURA	63
PRILOGE	64
- Mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah (FBVA - Avstrija, LECO)	65
- Mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah (IGLG - Ljubljana, SULMHOMAT)	65
- Mejne vrednosti za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic	65
- Bioindikacijska mreža Slovenije. Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic	66
- Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih	67

UVODNA POJASNILA

1 UVODNA POJASNILA

Zaradi onesnaževanja okolja in poškodb gozdnega drevja, ki so se zelo razširile v gozdovih, nastaja veliko vprašanj v zvezi z usodo živega sveta, trenutno pa seveda predvsem z usodo gozdov. Gozdarji si prizadevajo, da bi gozdove obvarovali pred propadanjem. Da bi svoje delo lažje in uspešnejše izvajali, morajo vsaj tam, kjer se da, spoznati vzroke poškodb na gozdnem drevju.

Vzroki poškodb so lahko zelo različni. Često opazujemo, da so poškodbe posledica različnih vzrokov, ki hkrati delujejo na gozdno drevje, bodisi neposredno ali posredno. Vedno pa si prizadevamo, da bi te vzroke tudi ugotovili. Med primarnimi vzroki so zelo pogosto strupene odpadne snovi, med katere štejemo tudi žveplo in fluor. Njuno prisotnost v gozdu lahko posredno ugotovimo z metodami bioindikacije, pri čemer se opiramo na spoznanje, da, rastline rastejo vedno na istem mestu in se ne morejo umikati pred neprijetnimi vplivi okolja tako kot to lahko storita človek in žival. Rastline morajo živeti v razmerah, kakršne pač so na rastišču, pri tem pa zbirajo odložine onesnaženega okolja, med njimi tudi žveplo in fluor, katerih spojine so zelo učinkoviti vzroki nastajanja poškodb na gozdnem drevju. Vsebnost žvepla in fluora v rastlinskih tkivih lahko laboratoriju ugotovimo s primernimi kemijskimi postopki.

Na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani že več let ugotavljamo vsebnost fluora in žvepla v iglicah, pa tudi v listju, lišajih, storžih in drugih rastlinskih tkivih. Pri delu smo spoznali vrsto problemov metodološke narave, ki smo jih želeli rešiti za to, da bi bili rezultati čimbolj natančni, s tem pa tudi primerljivi in bolj uporabni. Tako so v nekaj letih nastale štiri, vsebinsko zaokrožene študije, ki sestavljajo to delo. Vse štiri študije skupaj zaokrožujejo metodologijo bioindikacije imisije žvepla.

Prva študija obravnava primer ugotavljanja prisotnosti fluora in žvepla v gozdu, spomladi, t.j. v času, ki po dogovorjeni metodologiji bioindikacije onesnaženosti okolja z žveplom in fluorom ni primeren za nabiranje vzorcev za laboratorijske analize. Zato smo v tem primeru preizkusili druge metode oz. drugačne vrste vzorcev za ugotavljanje obremenjenosti gozdov s škodljivimi snovmi.

Druga študija opisuje metodo nabiranja vzorcev za kemično analizo, način vrednotenja analiznih rezultatov in primer ugotavljanja obremenjenosti gozdov z žveplom na območju Slovenije.

Tretja študija prikazuje podatke preizkusa natančnosti analiznih rezultatov vsebnosti žvepla, ki jih dobivamo v pedološkem laboratoriju Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo in korelacijo teh rezultatov s rezultati, ki jih prikazujejo v sosednji Avstriji, od koder smo prevzeli metodo bioindikacije.

Zadnja, četrta študija obravnava obremenjenost gozdov z žveplom l.1989. Hkrati prikazuje na novo preračunane rezultate bioindikacije žvepla v letih 1985-1988 glede na popravljene mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah, ki omogočajo pravilnejšo mednarodno primerjavo raziskovalnih rezultatov.

Tako to zbrano delo vsebuje popoln opis metodologije bioindikacije žvepla v gozdu. Podrobno je opisan postopek nabiranja vzorcev za analizo, od ustreznega časa za vzorčenje, izbire primernih dreves in dela drevesa za vzorčenje do priprave vzorcev za kemijsko analizo. Pojasnjena so opravila, ki smo jih standardizirali pri delu z aparaturo SULMHOMAT 12 ADG, ki jo na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo uporabljamo za analizo žvepla. S standardizacijo teh opravil smo dosegli zelo veliko natančnost analiznih rezultatov. Hkrati pa to delo prikazuje še stanje obremenjenosti slovenskih gozdov z žveplom v letih 1985 do 1990.

O UGOTAVLJANJU IMISIJE ŽVEPLA IN FLUORA V GOZDU

Izvleček

O UGOTAVLJANJU IMISIJE ŽVEPLA IN FLUORA V GOZDU

Preiskavo smo opravičili zgodaj spomladi. Analizirali smo suho listje belega gabra, gradnovo skorjo in talne vzorce. Blizu tovarne je vsebnost žvepla v listih belega gabra za 24%, vsebnost fluora pa za 114% večja kot v gozdu brez večjih vplivov onesnaženja. V gozdu pri tovarni tla ob drevesu zaradi deževnice, ki odteka po deblu, vsebujejo 35% več žvepla in 237% več fluora kot tla, ki so od najbližjega drevesa oddaljena približno 3 m. Analiza drevesne skorje se je pri ocenjevanju imisijskih razmer v gozdu izkazala za neustrezno.

Ključne besede: žveplo, fluor, tla, rastlinska tkiva, listje, skorja

Abstract

THE ESTABLISHING OF SULPHUR AND FLUOR IMISSIONS IN THE FOREST

The research was performed in early spring. Dry leaves of the hornbeam, oak bark and ground samples were analysed. It was established that the potence od sulphur in hornbeam leaves is by 24% and the potence fluor by 114% greater in the vicinity of the factory than it is in a forest which is not exposed to heavy pollution. Due to the rain-water, the ground by a tree contains 35% more sulphur and 237% more fluor in the forest near the factory than which is approximately 3 m away from the nearest tree. The tree bark analysis proved to be inappropriate in the establishing of the imission situation.

Key words: sulphur, fluor, soil, plant tissues, leaves, bark

2.1 UVOD

Gozdno drevje vse bolj propada. Ker so vzroki za propadanje lahko zelo različni, nas vse bolj zanima, katero drevje propada iz znanih abiotskih in biotskih razlogov (in v kakšni meri), kje pa gozdovi propadajo zaradi onesnaženega okolja oz. iz neznanih razlogov. Prisotnost nekaterih snovi, ki škodijo gozdnemu drevju, lahko ugotovimo z ustreznimi analitičnimi metodami.

Terenski gozdarji so nas aprila 1.1987 pozvali, naj ugotovimo morebitno prisotnost žvepla in fluora v gozdnih blizu industrijskega obrata, ki je domnevni emitent fluora, morda pa tudi žvepla. Zaradi neprimerne letnega časa za takšno analizo (vzorci listavcev za listno analizo navadno nabiramo septembra, vzorce iglavcev pa med vegetacijskim mirovanjem, t.j. v poznih jesenskih in zimskih mesecih), smo se odločili, da bomo hkrati preskusili več različnih metod za ugotavljanje prisotnosti škodljivih snovi.

2.2 METODA DELA

Vzorci smo nabrali v dveh gozdnih objektih. Poleg gozda pri tovarni smo za primerjavo izbrali še gozd približno enakega gozdnovegetacijskega tipa, ki je precej oddaljen od tovarne in drugih virov onesnaževanja. V obeh gozdnih smo nabrali tri vrste vzorcev za laboratorijske analize.

Najprej smo nabrali suho listje belega gabra (*Carpinus betulus* L.), ki je ostalo na drevju še iz 1.1986.

Nato smo odvzeli vzorce hrastove skorje (*Quercus petraea* M.Lieb.) na dveh različnih mestih debla, približno 1,5 m od tal - en vzorec skorje na tisti strani debla, po kateri se ob deževju cedi voda, drugega pa na nasprotni strani.

Poleg vzorcev listja in skorje smo odvzeli še talne vzorce. Vzorčili smo po metodi, ki jo že nekaj časa uporabljajo tako drugod (1, 2, 3) kot pri nas (4), in sicer prav ob deblu drevesa (beli gaber), na tisti strani, kjer se po deblu odceja deževnica (mikrorastišče), ter z mesta, ki je približno 3 m oddaljeno od najbližjega drevesa (makrorastišče). Na obeh mestih smo odvzeli vzorec površinskega, organsko mineralnega horizonta Ah.

Vsem vzorcem smo v laboratoriju določili vsebnost žvepla in fluora. Fluor smo določili tako, da smo najprej razklopili vzorec z natrijevim peroksidom v univerzalnih bombicah IKA, fluoride pa z elektrodo, ki je občutljiva na fluoridne ione (neposredna potenciometrična določitev fluoridov 5, 6). Žveplo smo določali po konduktometrični metodi s predhodnim sežigom vzorca v kisiku z napravo SULMHOMAT 12 ADG (7).

2.3 IZSLEDKI IN OBRAVNAVA

Rezultati vsebnosti žvepla in fluora v suhem listju belega gabra, gradnovi skorji in tleh so prikazani v tabeli 1. Vrednosti za vsebnost žvepla so v odstotkih, vsebnost fluora pa je prikazana v ppm (parts per million).

Tabela 1: Rezultati analize vsebnosti žvepla in fluora

Vzorec	S %	%	F ppm	%
A ₁	0,177	124	94	214
A ₂	0,143	100	44	100
B ₁	0,102	71	62	97
B ₂	0,143	100	64	100
C ₁	0,123	72	54	56
C ₂	0,172	100	96	100
D	0,255	135	256	337
E	0,189	100	76	100

Opis vzorec:

- A suho listje belega gabra (*Carpinus betulus*)
- B gradnova (*Quercus petraea*) skorja z dela debla, po katerem se cedi deževnica
- C gradnova skorja z nasprotne strani debla
- D talni vzorec z mesta ob deblu drevesa (mikrorastišče)
- E talni vzorec z mesta, ki je oddaljeno od debla drevesa (makrorastišče)
- 1 vzorci, nabrani v gozdu pri tovarni
- 2 vzorci, nabrani v gozdu brez večjih vplivov onesnaženja okolja

Listje belega gabra iz gozda pri tovarni vsebuje nekaj več žvepla in veliko več fluora kot listje iz gozda brez večjega vpliva onesnaženosti. Če izsledke primerjamo z mejnimi vrednostmi za ocenjevanje imisije, ki jih v Avstriji uporabljajo za bukev (8), lahko ugotovimo, da vsebnost žvepla v listju iz obeh obravnavanih gozov presega mejno vrednost 0,08% S, medtem ko je razlika med obema analiziranimi vrednostma majhna in nakazuje nekoliko povečano imisijo žvepla v okolici tovarne.

V "čistejšem" gozdu je precej manj fluora, v gozdu pri tovarni pa je količina večja od mejne vrednosti za fluor v bukovem listju (80 ppm), kakršno uporabljajo v Avstriji (8).

Omenjene mejne vrednosti, ki jih navajajo avstrijski predpisi, se nanašajo na bukovo listje, ki ga vzorčijo za analize septembra. Predvidevajo, da so poškodbe drevja, pri katerem vsebnost onesnaževalcev presega mejne vrednosti, lahko posledica učinkovanja teh snovi. Mi smo analizirali suho, skoraj leto staro

listje belega gabra, ki smo ga nabrali prve dni aprila. Ker ne poznamo mejnih vrednosti za imisijo žvepla in fluora pri belem gabru in ker vzorcev nismo nabrali v dogovorjenem letnem času za vzorčenje, mejnih vrednosti za imisijo ne smemo upoštevati absolutno, uporabimo jih lahko le za orientacijo. Zato pa so odločilne relativne razlike med vrednostmi analize vzorcev iz gozda pri tovarni in vzorcev "čistega gozda". V našem primeru vsebuje listje belega gabra iz gozda pri tovarni 114% več fluora kot listje iz gozda brez večjih vplivov onesnaženja okolja.

V literaturi še nismo zasledili, da bi skorjo dreves upoštevali kot rastlinsko tkivo pri bioindikaciji onesnaženosti. Znano pa je, da je lahko kemična sestava skorje dober kazalec prehranjevalnih razmer gozdnega drevja (9, 10). Ker je skorja nenehno izpostavljena vplivom onesnaževalcev, smo preskusili, če je lahko primerna tudi za ugotavljanje imisije v gozdu.

V gradnovi skorji je bilo več žvepla v vzorcih iz "čistega gozda". V obeh gozdovih smo v vzorcih skorje s tistega dela drevesnega debla, po katerem se cedi deževnica, opazili manj žvepla kot v vzorcih z nasprotne strani debla. Skorja dreves v bližini tovarne vsebuje tudi manj fluora kot skorja dreves iz "čistega gozda".

Analize vzorcev gradnove skorje niso dale uporabnih rezultatov. Zato lahko sklenemo, da je drevesna skorja manj primerna oz. neprimerna za bioindikacijo onesnaževalcev v gozdu.

Tla smo analizirali le v gozdu pri tovarni. Razlike v vsebnosti žvepla, posebej pa fluora med talnim vzorcem ob deblu (mikrorastišče) in vzorcem, ki je od drevesnih debel oddaljen (makrorastišče), so jasne, saj je na mikrorastišču vsebnost žvepla v tleh za 35%, vsebnost fluora pa kar za 237% višja kot na makrorastišču. Gozd pri tovarni je torej nekoliko obremenjen od emisije žvepla in precej obremenjen od emisije fluora.

2.4 SKLEPI

Analize listja in tal so primerne za ugotavljanje prisotnosti žvepla in fluora v gozdu. Če ne moremo čakati na vzorčenje v primernem letnem času po dogovorjeni metodologiji, so dovolj uporabne tudi analize vzorcev suhega listja. Vrednosti vsebnosti onesnaževalcev v listih se v teh vzorcih sicer razlikujejo od vrednosti v vzorcih, nabranih ob dogovorjenem času (septembra), vendar so dobri kazalci pri primerjavi onesnaženega in "čistega" gozda. Vzorci drevesne skorje za ocenjevanje prisotnosti žvepla in fluora v gozdu niso bili primerni.

Iz izsledkov analiz listja in tal lahko sklepamo, da je gozd ob tovarni zelo obremenjen s fluorom, nekoliko pa tudi z žveplom.

2.5 POVZETEK

Preverjali smo imisijo žvepla in fluora v gozdu pri tovarni, ki je domnevni emitent fluora, morda pa tudi žvepla. Preiskavo smo opravili zgodaj spomladi, ko čas za nabiranje vzorcev za analizo listja ni primeren. Zato smo hkrati uporabili več primerjalnih analiz za žveplo in fluor. Analizirali smo suho listje belega gabra, gradnovo skorjo in talne vzorce.

V gozdu pri tovarni smo z analizami listja ugotovili za 24% več žvepla in za 114% več fluora kot v gozdu s podobnimi rastiščnimi lastnostmi, toda brez večjih vplivov onesnaževanja.

Rezultati analiz vzorcev gradnove skorje niso pokazali značilnih razlik. Torej analize drevesne skorje niso primerne za ocenjevanje imisijskih razmer v gozdu.

V gozdu pri tovarni tla ob drevesu belega gabra, kamor z debla odteka deževnica, vsebujejo za 35% več žvepla in za 237% več fluora kot tla, ki so približno 3 m oddaljena od najbližjega drevesa.

Iz izsledkov sklepamo, da je gozd ob tovarni zelo obremenjen s fluorom, nekoliko pa tudi z žveplom.

2.6 ZUSAMMENFASSUNG

DAS FESTSTELLEN VON SCHWEFEL- UND FLUORIMMISSION IM WALD

Die Schwefel- und Fluorimmission im Wald in der Nähe des Werks, das der vermutliche Emitent von Fluor und vielleicht auch von Schwefel ist, ist geprüft worden. Die Erforschung wurde im Frühling, wenn die Zeit für das Probesammeln für Blattanalysen nicht geeignet ist, durchgeführt. Deswegen wurde mehrere Vergleichsanalysen für Schwefel und Fluor gleichzeitig verwendet. Trockene Blätter der Heibuche, der Bast der Traubeneiche und Bodenproben wurden analysiert.

Die Blattanalysen zeigten einen um 24% grösseren Schwefelgehalt und um 114% grösseren Fluorgehalt im Wald neben dem Werk, als in dem Wald mit ähnlichen Standortverhältnissen, der jedoch keinen grösseren Verunreinigungseinflüssen ausgesetzt ist.

Die Analyseergebnisse der Traubeneichbastprobe zeigten keine charakteristische Verschiedenheiten. Die Bastanalysen sind folglich ungeeignet für die Bewertung der Immissionsverhältnisse im Wald.

Im Wald neben dem Werk enthält der Boden, der die Stammniederschläge erhält, 35% mehr Schwefel und 237% mehr Fluor als der Boden, der ungefähr 3 m von dem nächstliegenden Baum entfernt ist.

Die Ergebnisse zeigen darauf, dass der Wald in der Nähe der Fabrik stark durch Fluor und teilweise auch durch Schwefel verunreinigt wird.

2.7 LITERARURA

1. Koenies, H. (1982): Über die Eigenart der Mikrostandorte im Fussbereich der Altbuchen unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallgehalte in der organischen Auflage und im Oberboden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Band 9, Göttingen
2. Glatzel, G., Sonderegger, E., Kazda, M., Puxbaum, H. (1983): Bodenveränderungen durch schadstoffangereicherte Stammablaufniederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes. Allgemeine Forst Zeitschrift 38, 26/27, str. 693-694
3. Jochheim, H. (1985): Der Einfluss des Stamablaufwassers auf den chemischen Bodenzuständen verschiedener Waldgesellschaften. Berichte des Forschungszentrum Waldökologie/Waldsterben, Band 13, Göttingen
4. Glavač, V., Koenies, H., Prpič, B. (1985): O unosu zračnih polutanata u bukove i bukovo-jelove šume Dinarskog gorja sjeverozapadne Jugoslavije. Šumarski list, 109, 9-10, str.429-447
5. Ehrenberger, F., Gorbach, S. (1973): Methoden der organischen Elementar- und Spurenanalyse. Verlag Chemie, Weinheim
6. Wurzschnitt, B. (1950): Ein neues Schnellausschlussverfahren mit Alkalisuperoxyd in einer Universalbombe für Mikro-, Halbmikro- und Makroeinwaagen. Chemiker - Zeitung, 27, str.356-360
7. * Gasanalysen-Messanlage. Typ: SULMHOMAT 12 ADG. H. Wösthoff GmbH, Messtechnik, Bochum, 1986 (opis naprave z navodili za uporabo)
8. * Zweite Verordnung gegen Forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl, Nr 199/1984 (Auszugsweise). Programm zur Rettung des steierischen Waldes. Graz, 1985, str.66-68

9. Hohenadl, R., Alcubilla, M., Rehfuess, K. E. (1978): Die Stammastanalyse als Methode zur Beurteilung des Ernährungszustandes von Coniferen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Weinheim, 141, str.687-704
10. Berchold, R., Alcubilla, M., Evers, F. H., Rehfuess, K. E. (1981): Standortkundliche Studien zum Tannensterben: Nadel- und bastanalytischer Vergleich zwischen befallenen und gesunden Bäumen. Forstwissenschaftlichen Centralblatt. 100, 3-4, str.236-253

OBREMENJENOST SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM

Izвлеček

OBREMENJENOST SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM

Opisana je metoda zbiranja vzorcev za analizo, analitičnega postopka določevanja žvepla in izvrednotenja analiznih podatkov o vsebnosti žvepla v iglicah. Po podatkih raziskav l.1987 je na dobri tretjini točk osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže emisija žvepla tako visoka, da v okolici teh točk lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju zaradi škodljivega delovanja žveplovih spojin. Največje obremenitve gozda z žveplom so na bioindikacijskih točkah industrijskih območij Ljubljane, Maribora in Celja ter na gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec, kjer so večji emitenti žveplovega dioksida. V reliefno zelo razgibani pokrajini Slovenije nam podatki osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže dajejo le približno oceno o obremenjenosti gozdov z žveplom.

Ključne besede: analiza iglic, vzorčenje, vsebnost žvepla, izvrednotenje rezultatov, obremenjenost gozda, propadanje gozda, gozdnogospodarsko območje, Slovenija, vsebnostni razred, bioindikacijska točka

Abstract

THE CONTAMINATION OF SLOVENE FORESTS WITH SULPHUR

The paper describes the method for collecting samples needed for analysis, the analytical process of sulphur determination, and the evaluation of the data collected by the analysis of the sulphur content in needles. According to research results from 1987, in one third of the basis 16 x 16 km bio-indication network the emission was so high, that we can expect the trees in the areas surrounding the network region to be damaged due to the harmful impact of sulphur compounds. Because there are big generators of sulphur dioxide emission, the major contamination of forests with sulphur is in the bio-indication ares of the industrial parts of Ljubljana, Maribor, Celje and in the enterprise area of Slovenj Gradec. Since the countryside in Slovenia varies greatly, the results from a basis 16 x 16 km bio-indication network provide us with only an approximation of the actual contamination of forests with sulphur.

Key words: analysis needles, sulphur content, evaluation of results, impact of forests, forest decline, forest management areas of Slovenia, sulphur content class, bioindication plot

3.1 UVOD

Pojav propadanja gozdov se na območju SR Slovenije vse bolj širi. Vzrokov za propadanje gozdnega drevja je veliko. Nekaj jih že poznamo, verjetno pa je še več takšnih, ki jih še nismo spoznali. Med znanimi povzročitelji propadanja gozdov so žveplovi oksidi verjetno najbolj razširjeni in učinkoviti. Z ustreznimi analiznimi metodami lahko vsebnost žvepla v rastlinskih tkivih dovolj natančno določimo. Ker rastline rastejo vedno na istem mestu, se pred neprijetnimi vplivi okolja ne morejo umakniti tako kot to lahko storita človek ali žival, morajo živeti v razmerah, kakršne pač so na rastišču, pri tem pa zbirajo odložine onesnaženega okolja, med njimi tudi žveplo. Zato rastline oz. njihova tkiva uporabljamo kot bioindikatorje za oceno obremenjenosti okolja s škodljivimi snovmi. Iz povečane vsebnosti žvepla glede na običajno naravno vsebnost žvepla v rastlinskih tkivih lahko sklepamo o obremenjenosti gozda z onesnaženim zrakom.

3.2 METODE PROUČEVANJA

3.2.1 NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO

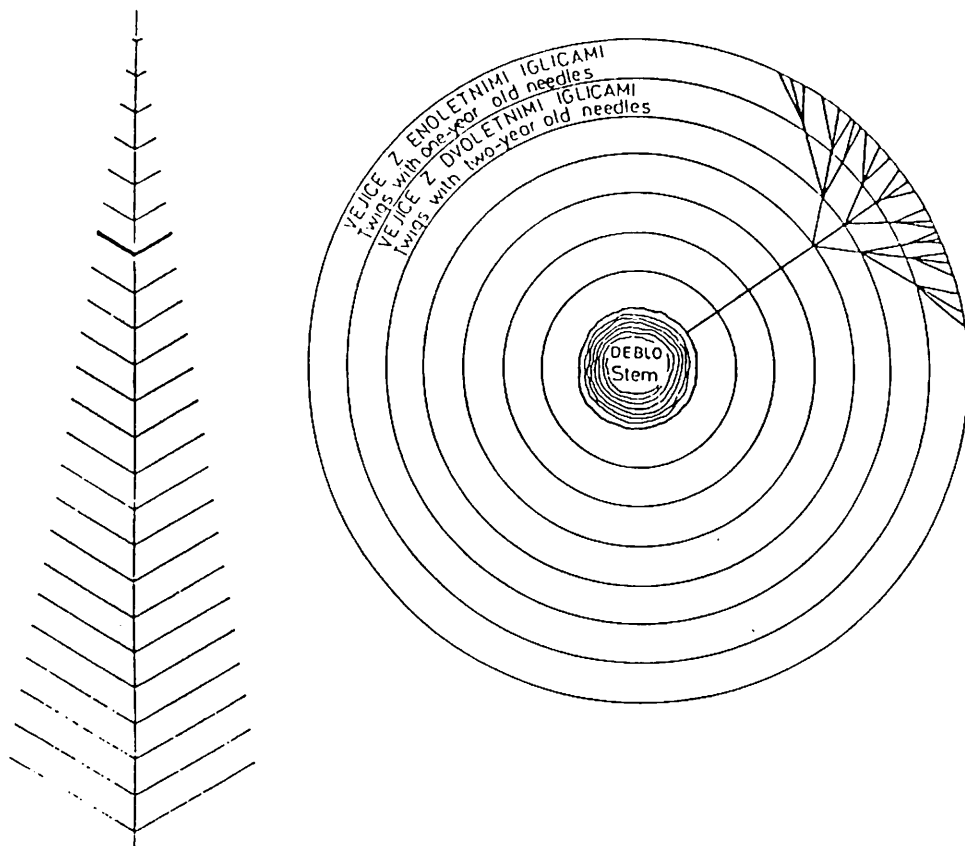
Leta 1985 so sodelavci Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo pričeli postavljati točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže. Na teh točkah redno nabirajo vzorce iglic za laboratorijske analize.

Glavna bioindikacijska drevesna vrsta je smreka. Na območjih, kjer smreka ne raste, izbirajo druge drevesne vrste. Tako na priobalno - kraškem območju nabirajo vzorce iglic črnega bora, v vzhodni Sloveniji pa rdečega bora. Vzorce nabirajo iz čim bolj vitalnih, nadraslih ali vsaj soraslih dreves, ki imajo dobro osvetljen zgornji del krošnje. Na vsaki bioindikacijski točki ali drugem raziskovalnem objektu je treba odvzeti vzorce iz dveh tako izbranih dreves.

Vzorce iglic za laboratorijske analize nabiramo iz vej sedmega drevesnega vretena (skica 1). Pri izbiri sedmega vretena moramo paziti, da najdemo res sedem let stare veje in da nas pri iskanju ne zavedejo vretena drugega reda. Zato se o pravilni izbiri vej sedmega vretena še enkrat prepričamo tako, da preštejemo, če ima veja res sedem različno starih poganjkov.

Najbolj primeren čas za vzorčenje so pozni jesenski in pa zimski meseci, t.j. čas, ko vegetacija miruje (4, 5).

Za analizo izberemo enoletne in dvoletne iglice.

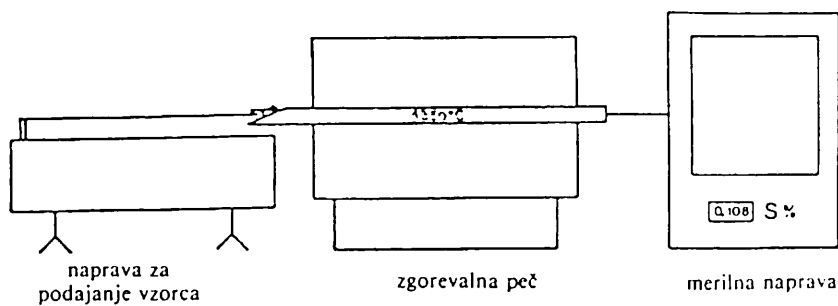


Skica 1: Shema nabiranja vzorcev iglic za kemijsko analizo

3.2.2 LABORATORIJSKO DELO

Če na terenu še niso ločili vzorcev enoletnih in dvoletnih iglic, potem v laboratoriju najprej razrežemo veje in posamezne odrezke razporedimo po starosti. Nato vzorce enoletnih in dvoletnih iglic posušimo, očistimo nečistoč, jih zmeljemo in presejemo. Igllice sušimo pri sobni temperaturi, lahko pa tudi v sušilnih omarah pri temperaturi 45 C.

Tako pripravljenim vzorcem določimo vsebnost skupnega žvepla z aparaturo SULMHOMAT 12 ADG (2, 3). Aparaturo, ki deluje po konduktometrijski metodi, sestavljajo trije deli. Prvi del je naprava za avtomatično podajanje vzorcev, ki počasi in vedno z enako hitrostjo pomika žarilno ladjico z vzorcem v razžarjeni del peči. Z enakomernim in vedno enakim pomikom dosežemo, da analize potekajo vsakokrat v enakih pogojih zgorevanja, s tem pa dosežemo tudi večjo točnost določitve. Zgorevalna peč je drugi del aparature. Vzorec v njej zgori pri temperaturi 1350 C. Ob dovajanju kisika žveplo zgori do žveplovega dvokisa (SO₂). Nastali plini neprekinjeno prehajajo iz peči v merilni del aparature, ki meri količino žvepla na osnovi spremenjene prevodnosti reakcijske raztopine, v katero se uvaja žveplov dvokis.



Skica 2: Aparatura SULMHOMAT 12-ADG za določevanje skupnega žvepla

3.2.3 IZVREDNOTENJE ANALIZNIH REZULTATOV O VSEBNOSTI ŽVEPLA V IGLICAH

Na osnovi analiznih rezultatov o vsebnosti žvepla v iglicah lahko ocenjujemo obremenjenost okolja z žveplom na posameznih objektih, iz katerih smo odvzeli vzorce za analizo. Za osnovno izhodišče takšnega ocenjevanja uporabljamo mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, kot jih uporabljajo v Avstriji (6, 7). Te vrednosti so prikazane v tabelah 1 in 2. Poprečne analizne rezultate o vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za posamezni gozdni objekt (bioindikacijsko točko) najprej razvrstimo v ustrezne razrede po tabeli 1.

Tabela 1: Mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah

Razred	Vsebnost žvepla (S) v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,080	do 0,100
2	0,081 - 0,110	0,101 - 0,140
3	0,111 - 0,150	0,141 - 0,190
4	nad 0,151	nad 0,191

Skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic določimo na osnovi seštevka razreda vsebnosti žvepla v enoletnih iglicah in razreda vsebnosti žvepla v dvoletnih iglicah. Tako dobljeno vsoto vzporejamo z vrednostmi za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic v tabeli 2.

Tabela 2: Mejne vrednosti za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Skupni razred vsebnosti žvepla	Vsota razredov za enoletne in dvoletne iglice
1	2
2	3 in 4
3	5 in 6
4	7 in 8

Drevesa, ki so v 1. skupnem razredu vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic, imajo naravno količino žvepla v sestavinah iglic. Pri drevesih 2. razreda je naravna vsebnost žvepla nekoliko povečana zaradi zmerne imisije žvepla. Pri tej imisiji še ne pričakujemo poškodb na gozdnem drevju zaradi žvepla. Drevesa, katerih vzorce uvrščamo v 3. razred, rastejo v območju povečane imisije. Na drevju, ki raste v tem območju, so poškodbe zaradi žvepla že pričakovane. Na objektih, iz katerih so analizirani vzorci iglic razporejeni v 4. razred, se drevje nahaja v območju zelo povečane imisije žvepla, kjer so poškodbe na drevju zagotovo povezane tudi z imisijo žvepla.

Po navedenih tabelah smo tudi analiznim rezultatom iglic črnega in rdečega bora oblikovali skupne vsebnostne razrede.

Za nekatere prikaze uporabljamo še skupne relativne razrede vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. Te razrede smo dobili tako, da smo posamezne bioindikacijske točke razvrstili po rastočih vrednostih vsebnosti žvepla v iglicah. Nato smo točke razvrstili v pet enako velikih razredov tako, da je v prvem razredu petina točk z najnižjo, v petem razredu pa petina točk z najvišjo vsebnostjo žvepla.

3.3 OCENA OBREMENJENOSTI SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM

V pozni jeseni in pozimi 1.1987/88 so bili nabrani in analizirani vzorci iglic iz 86 točk 16 x 16 km bioindikacijske mreže. Rezultati analiz so prikazani v tabeli 3, kjer poleg podatkov o imenu in položaju bioindikacijske točke ter srednjih vrednosti vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah lahko razberemo tudi relativni in skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic (skupni vsebnostni razred žvepla). Tudi analiznim podatkom o vsebnosti žvepla v iglicah črnega in rdečega bora smo tvorili skupne vsebnostne razrede žvepla po omenjenih tabelah, ki sicer veljajo za smreko. Za 1.1988/89 imamo podatke za 78 bioindikacijskih točk (tabela 4), ker takrat niso bili nabrani vzorci na točkah kraškega gozdnogospodarskega območja Sežana. Na priloženih skicah 3 in 4 so skupni vsebnostni razredi žvepla

Tabela 3: Točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže - vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, skupni in relativni razred vsebnosti žvepla (Podatki za 1.1987)

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni	
A 4	sm	0.091	0.083	2	1	2	1
B 3	sm	0.079	0.084	1	1	1	1
B 4	sm	0.077	0.083	1	1	1	1
B 5	sm	0.112	0.112	3	2	3	4
B 6	sm	0.105	0.100	2	1	2	2
B 7	č.bo.	0.093	0.095	2	1	2	1
B 10	č.bo.	0.082	0.075	2	1	2	1
C 3	sm	0.103	0.108	2	2	2	3
C 4	sm	0.106	0.099	2	1	2	3
C 5	sm	0.080	0.081	1	1	1	1
C 6	sm	0.102	0.106	2	2	2	2
C 7	sm	0.101	0.101	2	2	2	2
C 8	č.bo.	0.091	0.084	2	1	2	1
C 9	č.bo.	0.103	0.100	2	1	2	2
C 10	č.bo.	0.080	0.082	1	1	1	1
D 3	sm	0.103	0.119	2	2	2	4
D 4	sm	0.093	0.104	2	2	2	2
D 5	sm	0.110	0.135	2	2	2	4
D 6	sm	0.101	0.115	2	2	2	3
D 7	sm	0.105	0.118	2	2	2	4
D 8	č.bo.	0.101	0.115	2	2	2	3
D 9	sm	0.098	0.113	2	2	2	3
E 4	sm	0.113	0.121	3	2	3	4
E 5	sm	0.115	0.128	3	2	3	4
E 6	sm	0.121	0.116	3	2	3	4
E 7	sm	0.111	0.106	3	2	3	3
E 8	sm	0.107	0.105	2	2	2	3
E 9	č.bo.	0.081	0.076	2	1	2	1
F 4	sm	0.094	0.108	2	2	2	2
F 5	sm	0.113	0.126	3	2	3	4
F 6	sm	0.132	0.146	3	3	3	5
F 7	sm	0.099	0.107	2	2	2	2
F 8	sm	0.112	0.110	3	2	3	4
F 9	sm	0.106	0.105	2	2	2	3
G 3	sm	0.097	0.105	2	2	2	2
G 4	sm	0.092	0.100	2	1	2	1
G 5	sm	0.119	0.131	3	2	3	5
G 6	sm	0.125	0.147	3	3	3	5
G 7	sm	0.116	0.112	3	2	3	4
G 8	sm	0.101	0.092	2	1	2	2
G 9	sm	0.089	0.096	2	1	2	1
H 2	sm	0.103	0.116	2	2	2	3
H 3	sm	0.114	0.140	3	2	3	5
H 4	sm	0.104	0.107	2	2	2	3

Tabela 3: (nadaljevanje)

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.	
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni		
H	5	sm	0.138	0.149	3	3	3	5
H	6	sm	0.122	0.121	3	2	3	5
H	7	sm	0.126	0.138	3	2	3	5
H	8	sm	0.093	0.084	2	1	2	1
H	9	sm	0.106	0.088	2	1	2	2
H	10	sm	0.103	0.085	2	1	2	2
I	2	sm	0.131	0.155	3	3	3	5
I	3	sm	0.154	0.164	4	3	4	5
I	4	sm	0.085	0.079	2	1	2	1
I	5	sm	0.155	0.129	4	2	3	5
I	6	sm	0.108	0.109	2	2	2	4
I	7	sm	0.103	0.102	2	2	2	2
I	8	sm	0.098	0.112	2	2	2	3
I	9	sm	0.088	0.083	2	1	2	1
I	10	sm	0.097	0.110	2	2	2	2
J	2	sm	0.121	0.132	3	2	3	5
J	3	sm	0.102	0.107	2	2	2	3
J	4	sm	0.109	0.108	2	2	2	3
J	5	sm	0.139	0.154	3	3	3	5
J	6	sm	0.111	0.116	3	2	3	4
J	7	sm	0.098	0.102	2	2	2	2
J	8	sm	0.104	0.111	2	2	2	3
J	9	sm	0.105	0.104	2	2	2	3
J	10	sm	0.079	0.076	1	1	1	1
K	2	sm	0.116	0.129	3	2	3	5
K	3	sm	0.121	0.129	3	2	3	5
K	4	sm	0.132	0.133	3	2	3	5
K	5	sm	0.103	0.121	2	2	2	4
K	6	sm	0.098	0.107	2	2	2	2
K	7	sm	0.090	0.091	2	1	2	1
L	2	sm	0.105	0.115	2	2	2	4
L	3	sm	0.123	0.113	3	2	3	4
L	4	sm	0.123	0.136	3	2	3	5
L	6	sm	0.088	0.092	2	1	2	1
M	2	sm	0.120	0.128	3	2	3	5
M	3	sm	0.129	0.130	3	2	3	5
M	4	sm	0.095	0.097	2	1	2	2
N	1	sm	0.101	0.110	2	2	2	3
N	3	sm	0.104	0.130	2	2	2	4
O	1	r.bo.	0.102	0.098	2	1	2	2
O	2	sm	0.118	0.108	3	2	3	4
P	3	r.bo.	0.112	0.102	3	2	3	3

sm smreka (*Picea abies*)č.bo. ... črni bor (*Pinus nigra*)r.bo. ... rdeči bor (*Pinus silvestris*)

Tabela 4: Točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže - vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, skupni in relativni razred vsebnosti žvepla (Podatki za 1.1988)

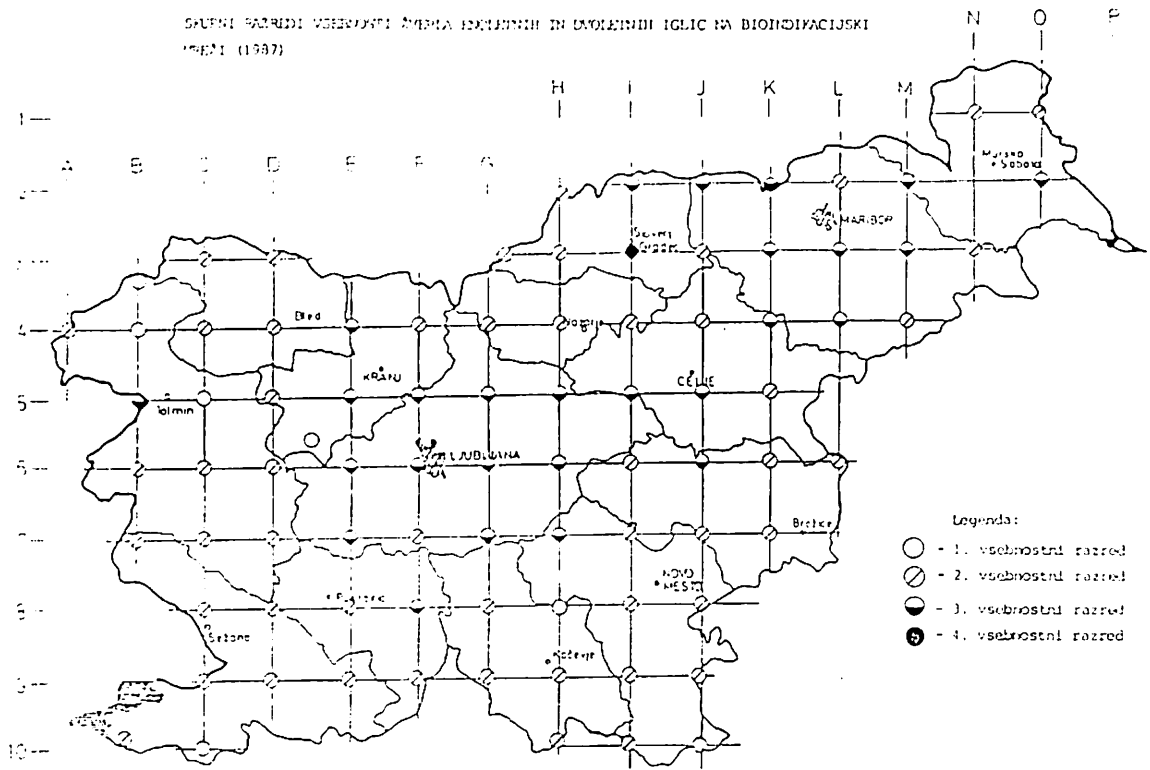
Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni	
A 4	sm	0.103	0.093	2	1	2	1
B 3	sm	0.106	0.121	2	2	2	2
B 4	sm	0.114	0.113	3	2	3	2
B 5	sm	0.132	0.144	3	3	3	5
B 6	sm	0.138	0.122	3	2	3	4
C 3	sm	0.135	0.128	3	2	3	4
C 4	sm	0.118	0.116	3	2	3	2
C 5	sm	0.104	0.108	2	2	2	1
C 6	sm	0.117	0.132	3	2	3	3
C 7	sm	0.113	0.120	3	2	3	2
D 3	sm	0.120	0.139	3	2	3	4
D 4	sm	0.104	0.107	2	2	2	1
D 5	sm	0.119	0.144	3	3	3	4
D 6	sm	0.123	0.115	3	2	3	2
D 7	sm	0.144	0.165	3	3	3	5
E 4	sm	0.115	0.145	3	3	3	3
E 5	sm	0.142	0.152	3	3	3	5
E 6	sm	0.122	0.129	3	2	3	3
E 7	sm	0.118	0.121	3	2	3	3
E 8	sm	0.110	0.106	2	2	2	1
F 4	sm	0.107	0.112	2	2	2	1
F 5	sm	0.137	0.144	3	3	3	5
F 6	sm	0.126	0.159	3	3	3	5
F 7	sm	0.104	0.113	2	2	2	1
F 8	sm	0.127	0.128	3	2	3	3
F 9	sm	0.110	0.120	2	2	2	2
G 3	sm	0.140	0.126	3	2	3	4
G 4	sm	0.110	0.120	2	2	2	2
G 5	sm	0.112	0.136	3	2	3	3
G 6	sm	0.126	0.147	3	3	3	4
G 7	sm	0.108	0.119	2	2	2	2
G 8	sm	0.113	0.116	3	2	3	2
G 9	sm	0.099	0.117	2	2	2	1
H 2	sm	0.129	0.143	3	3	3	4
H 3	sm	0.154	0.170	4	3	4	5
H 4	sm	0.124	0.151	3	3	3	4
H 5	sm	0.120	0.135	3	2	3	3
H 6	sm	0.123	0.140	3	2	3	4
H 7	sm	0.135	0.176	3	3	3	5
H 8	sm	0.090	0.089	2	1	2	1
H 9	sm	0.105	0.114	2	2	2	1
H 10	sm	0.131	0.113	3	2	2	3
I 2	sm	0.149	0.182	3	3	3	5
I 3	sm	0.172	0.212	4	4	4	5

Tabela 4: (nadaljevanje)

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni	
I 4	sm	0.111	0.152	3	3	3	3
I 5	sm	0.142	0.168	3	3	3	5
I 6	sm	0.110	0.116	2	2	2	2
I 7	sm	0.117	0.125	3	2	3	3
I 8	sm	0.100	0.113	2	2	2	1
I 9	sm	0.101	0.093	2	1	2	1
I 10	sm	0.113	0.122	3	2	3	2
J 2	sm	0.124	0.128	3	2	3	3
J 3	sm	0.139	0.153	3	3	3	5
J 4	sm	0.129	0.136	3	2	3	4
J 5	sm	0.158	0.195	4	4	4	5
J 6	sm	0.113	0.145	3	3	3	3
J 7	sm	0.122	0.131	3	2	3	3
J 8	sm	0.104	0.100	2	1	2	1
J 9	sm	0.105	0.112	2	2	2	1
J 10	sm	0.091	0.090	2	1	2	1
K 2	sm	0.135	0.143	3	3	3	4
K 3	sm	0.107	0.111	2	2	2	1
K 4	sm	0.113	0.124	3	2	3	2
K 5	sm	0.122	0.137	3	2	3	4
K 6	sm	0.131	0.150	3	3	3	5
K 7	sm	0.117	0.119	3	2	3	2
L 2	sm	0.120	0.144	3	3	3	4
L 3	sm	0.140	0.136	3	2	3	5
L 4	sm	0.136	0.147	3	3	3	5
L 6	sm	0.110	0.112	2	2	2	2
M 2	sm	0.130	0.163	3	3	3	5
M 3	sm	0.117	0.134	3	2	3	3
M 4	sm	0.112	0.121	3	2	3	2
N 1	sm	0.124	0.133	3	2	3	4
N 3	sm	0.104	0.127	2	2	2	2
O 1	r.bo.	0.114	0.129	3	2	3	3
O 2	sm	0.131	0.135	3	2	3	4
P 3	r.bo.	0.134	0.128	3	2	3	4

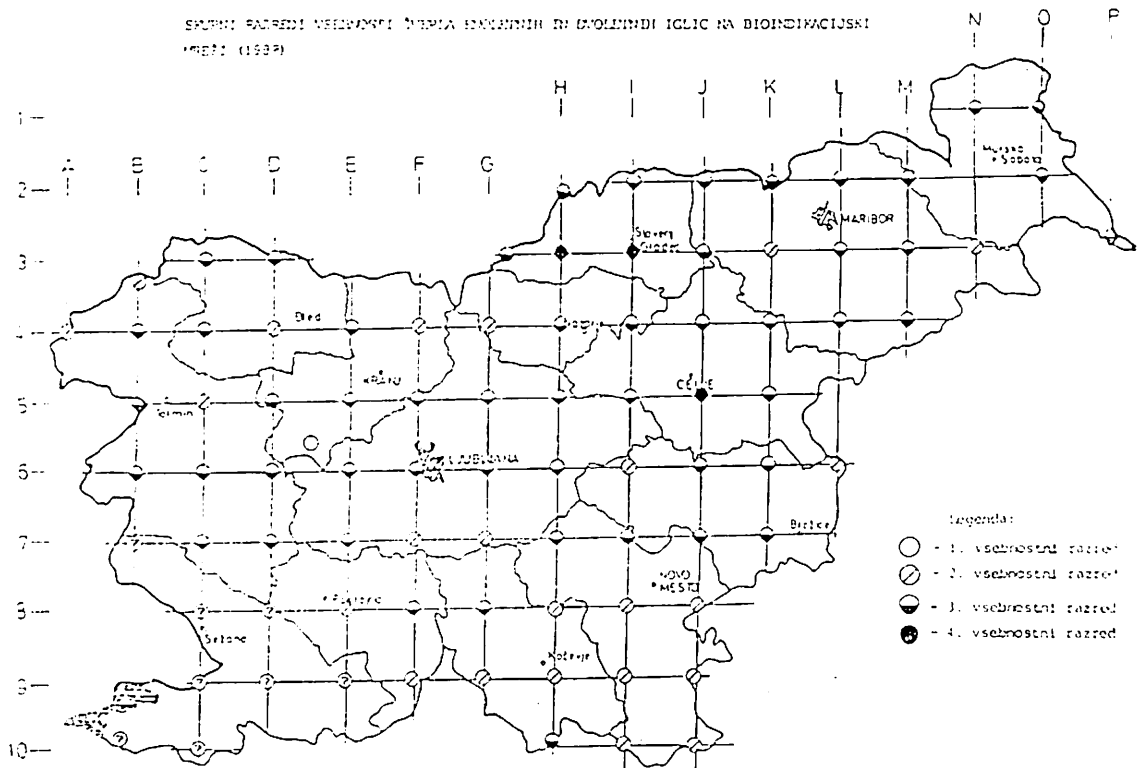
sm smreka (*Picea abies*)
č.bo. ... črni bor (*Pinus nigra*)
r.bo. ... rdeči bor (*Pinus silvestris*)

SKUPNI RAZREDI VSEBNOVI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC NA BIOINDIKACIJSKI MREŽI (1987)



Skica 3: Skupni razredi vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic na bioindikacijski mreži (Podatki za 1.1987)

SKUPNI RAZREDI VSEBNOVI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC NA BIOINDIKACIJSKI MREŽI (1988)



Skica 4: Skupni razredi vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic na bioindikacijski mreži (Podatki za 1.1988)

razporejeni po legi bioindikacijskih točk v prostoru Slovenije. Po teh podatkih lahko sklepamo, da so gozdovi zahodnega in južnega dela Slovenije najmanj obremenjeni z žveplom in da je največja imisija žvepla na širšem območju Ljubljane, Celja, Slovenj Gradca in Maribora.

Tabela 5: Bioindikacijska mreža SR Slovenije - porazdelitev točk po relativnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic (Podatki za l.1987)

Gozdnogospodarsko območje	Relativni vsebnostni razred žvepla					Sk
	1	2	3	4	5	
Tolmin	4	3	1	2	-	10
Bled	-	1	2	2	-	5
Kranj	-	1	-	2	-	3
Ljubljana	-	1	1	3	6	11
Postojna	-	-	2	1	-	3
Kočevje	1	3	-	-	-	4
Novo mesto	3	2	3	-	1	9
Brežice	2	2	-	2	-	6
Celje	1	-	1	1	2	5
Nazarje	1	-	1	-	-	2
Slovenj Gradec	-	1	2	-	3	6
Maribor	-	1	-	3	5	9
Murska Sobota	-	1	2	1	1	5
Sežana	5	1	2	-	-	8
S k u p a j	17	17	17	17	18	86

Podatki za l.1988

Tolmin	2	4	1	1	2	10
Bled	1	1	1	2	-	5
Kranj	1	-	-	1	1	3
Ljubljana	1	1	4	2	3	11
Postojna	1	1	1	-	-	3
Kočevje	2	1	1	-	-	4
Novo mesto	6	1	1	-	1	9
Brežice	-	3	2	-	1	6
Celje	-	1	1	2	1	5
Nazarje	-	1	-	1	-	2
Slovenj Gradec	-	-	-	2	4	6
Maribor	1	2	2	2	2	9
Murska Sobota	-	-	1	3	1	5
Sežana	-	-	-	-	-	-
S k u p a j	15	16	15	16	16	78

Opomba: Na bioindikacijskih točkah kraškega gozdnogospodarskega območja l.1988 niso bili nabrani vzorci za laboratorijske analize

Iz porazdelitve relativnih razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih (tabela 5) lahko sklepamo, da sta v poprečju Kraško gozdnogospodarsko območje in gozdnogospodarsko območje Kočevje najmanj, območji Maribor in Ljubljana pa najbolj obremenjeni z žveplom. Imisijske razmere žvepla naraščajo po gozdnogospodarskih območjih po naslednjem vrstnem redu (poleg imena gozdnogospodarskega območja je naveden še poprečni relativni razred za območje):

Tabela 6: Razporeditev gozdnogospodarskih območij po poprečnih relativnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

1987		1988	
1. Kraško GGO Sežana	1,6	(Kraško GGO Sežana)	-
2. GGO Kočevje	1,8	GGO Kočevje	1,8
3. GGO Nazarje	2,0	GGO Novo mesto	1,8
4. GGO Tolmin	2,1	GGO Postojna	2,0
5. GGO Novo mesto	2,3	GGO Tolmin	2,7
6. GGO Brežice	2,3	GGO Bled	2,8
7. GGO Bled	3,2	GGO Brežice	2,8
8. GGO Kranj	3,3	GGO Nazarje	3,0
9. GGO Postojna	3,3	GGO Maribor	3,2
10. GGO Murska Sobota	3,4	GGO Kranj	3,3
11. GGO Celje	3,6	GGO Ljubljana	3,5
12. GGO Slovenj Gradec	3,8	GGO Celje	3,6
13. GGO Ljubljana	4,3	GGO Murska Sobota	4,0
14. GGO Maribor	4,3	GGO Slovenj Gradec	4,7

Najvišjo vsebnost žvepla so imeli vzorci iglic na območju Slovenj Gradca (Podgorje), kar pojasnjujemo z bližino TE Šoštanj. Preseneča podatek, da so gozdovi gozdnogospodarskega območja Nazarje po rezultatih raziskave za l.1987 najmanj obremenjeni z žveplom, čeprav je po podatkih popisa gozdov l.1987 (1) na tem in na slovenjegraškem območju največ poškodovanih dreves in so tam najbolj ogroženi gozdovi na območju SR Slovenije, saj je v tem območju največji slovenski onesnaževalec zraka z žveplom. Iz tega lahko sklepamo, da edini točki osnovne 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije na gozdnogospodarskem območju Nazarje ležita izven vplivnega območja onesnaževanja zraka z žveplovim dvokisom in, da so točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže preredke, da bi lahko zajele vsa večja onesnažena območja.

Tabela 7 prikazuje porazdelitev točk 16 x 16 km bioindikacijske mreže po skupnih vsebnostnih razredih žvepla. Poleg števila točk v posameznem razredu in njihovega odstotnega deleža so v tabeli navedene še poprečne, minimalne in maksimalne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah.

Tabela 7: Bioindikacijska mreža SR Slovenije - porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Skupn.razr.	Štev. vsebn.žvepla	Štev. točk	%	Vsebnost žvepla (S) v %					
				enoletne iglice			dvoletne iglice		
				popr.	min.	max.	popr.	min.	max.

1985									
1		0	-	-	-	-	-	-	-
2		27	49,1	0,101	0,084	0,110	0,107	0,085	0,128
3		28	50,1	0,123	0,111	0,145	0,130	0,104	0,163
4		0	-	-	-	-	-	-	-

Skupaj		55	100,0	0,112	0,084	0,145	0,119	0,085	0,163

1986									
1		2	2,3	0,075	0,075	0,075	0,076	0,067	0,085
2		54	62,8	0,100	0,078	0,110	0,104	0,078	0,132
3		30	34,9	0,123	0,112	0,146	0,131	0,103	0,164
4		-	-	-	-	-	-	-	-

Skupaj		86	100,0	0,107	0,075	0,146	0,113	0,067	0,164

1987									
1		5	5,8	0,079	0,077	0,080	0,081	0,076	0,084
2		51	59,3	0,099	0,081	0,110	0,103	0,075	0,135
3		29	33,7	0,122	0,111	0,155	0,127	0,102	0,155
4		1	1,2	0,154	0,154	0,154	0,164	0,164	0,164

Skupaj		86	100,0	0,106	0,077	0,155	0,110	0,075	0,164

1988									
1		0	-	-	-	-	-	-	-
2		22	28,2	0,104	0,090	0,110	0,110	0,089	0,127
3		53	68,0	0,125	0,111	0,149	0,137	0,113	0,182
4		3	3,8	0,161	0,154	0,172	0,192	0,170	0,212

Skupaj		78	100,0	0,121	0,090	0,172	0,132	0,089	0,212

L.1987 je bila za vseh 86 bioindikacijskih točk v Sloveniji poprečna vsebnost žvepla v enoletnih iglicah 0,106 %S, v dvoletnih iglicah pa 0,110 %S, kar odgovarja drugemu skupnemu razredu vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. Največ točk (51 točk ali 59% vseh obravnavanih točk) je v 2.razredu, 29 točk (34%) je v 3.razredu, 5 točk (6%) je v 1. in 1 točka (1%) v 4.razredu. Torej je v osnovni bioindikacijski mreži Slovenije 30 (35%) takšnih točk, kjer lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju zaradi škodljivega delovanja žvepla.

V isti tabeli so tudi podatki za leti 1985 in 1986. Po teh podatkih se je poprečna vsebnost žvepla v iglicah iz leta v leto nekoliko zmanjševala, pa tudi razpored točk po skupnih vsebnostnih razredih žvepla je bil iz leta v leto ugodnejši, saj so se točke višjih razredov prમેščale v nižje skupne vsebnostne razrede žvepla. Lahko bi torej sklepali, da se imisijske razmere v gozdovih Slovenije iz leta v leto izboljšujejo oz. da se imisija žvepla zmanjšuje. Ker pa doslej pri nas še niso izvedli nobenih večjih ukrepov za zmanjševanje emisije žveplovega dvokisa (namestitvev naprav za razžvepljevanje plinov, uporaba goriv z nižjo vsebnostjo žvepla, ...) lahko nižje vsebnosti žvepla pripisujemo le ugodnejšim vremenskim razmeram kot so n.pr. večja vetrovnost in mile zime. Pogostejši, pa tudi močnejši veter razredčuje vsebnost žveplovega dvokisa v zraku in na ta način zmanjšuje njegovo škodljivo delovanje, seveda pa se splošna onesnaženost ozračja z žveplovim dvokisom ne zmanjša, ampak se poveča daljinski transport žveplovih spojin. V milejših zimah je manjša poraba trdih goriv za ogrevanje prostorov pa tudi v termoelektrarnah, saj so takrat tudi potrebe po proizvodnji elektrike manjše. Zaradi manjše porabe goriv je tudi onesnaževanje zraka z žveplovim dvokisom manjše. Rezultati raziskave l.1988 so višji od rezultatov prejšnjih let in potrjujejo domnevo, da je stanje imisije žvepla na območju SR Slovenije vedno slabše in da so bili podatki za l.1986 in 1987 le rezultat ugodnejših vremenskih razmer.

Porazdelitev skupnih razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih (tabela 8) nam podrobneje ponazarja spremembe imisijskih razmer v zadnjih letih po posameznih gozdnogospodarskih območjih.

Najbolj vidni premiki bioindikacijskih točk iz višjih v nižje skupne vsebnostne razrede žvepla so bili v l. 1986 in 1987 na gozdnogospodarskem območju Tolmin in Bled, vidni so bili tudi v Kranju, Novem mestu, Brežicah in Nazarjih, na Kočevskem se stanje ni spremenilo, poslabšalo pa se je na območju Postojne, Murske Sobote, Sežane, Slovenj Gradca, Celja, posebno pa na širšem območju Ljubljane in Maribora. Po podatkih raziskave l.1988 se je obremenjenost gozdov z žveplom zelo povečala. Na vseh gozdnogospodarskih območjih je slabše stanje od prejšnjih let. Le na gozdnogospodarskem območju Postojna je stanje enako kot je bilo l.1987.

Poprečne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za gozdnogospodarska območja (tabela 9) tudi pojasnjujejo poprečne imisijske razmere na posameznih območjih. Najnižjo poprečno vsebnost žvepla so imele iglice bioindikacijskih točk na območju Kočevja, Sežane, Tolmina, Novega mesta, Brežic in Nazarij. Nekaj višje vsebnosti so bile ugotovljene na območju Murske Sobote, Postojne in Bleda, najvišje pa na območju Maribora, Celja,

Tabela 8: Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih

Gozdnogospodarsko območje	1985					1986				
	Skupni vsebnostni razred žvepla					Skupni vsebnostni razred žvepla				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Tolmin	-	6	2	-	8	-	7	3	-	10
Bled	-	-	5	-	5	-	2	3	-	5
Kranj	-	1	2	-	3	-	1	2	-	3
Ljubljana	-	-	-	-	-	-	4	7	-	11
Postojna	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3
Kočevje	-	3	-	-	3	-	4	-	-	4
Novo mesto	-	5	4	-	9	-	8	1	-	9
Brežice	-	4	1	-	5	-	4	2	-	6
Celje	-	3	2	-	5	-	4	1	-	5
Nazarje	-	1	1	-	2	-	1	1	-	2
Slovenj Gradec	-	-	6	-	6	-	-	6	-	6
Maribor	-	4	5	-	9	-	6	3	-	9
Murska Sobota	-	-	-	-	-	-	4	1	-	5
Sežana	-	-	-	-	-	2	6	-	-	8
S k u p a j	-	27	28	-	55	2	54	30	-	86
%		49	51			2	63	35	1	
%		49	51			65	36			
	1987					1988				
Tolmin	3	6	1	-	10	-	3	7	-	10
Bled	-	4	1	-	5	-	1	4	-	5
Kranj	-	2	1	-	3	-	1	2	-	3
Ljubljana	-	1	10	-	11	-	2	9	-	11
Postojna	-	2	1	-	3	-	2	1	-	3
Kočevje	-	4	-	-	4	-	2	2	-	4
Novo mesto	1	7	1	-	9	-	6	3	-	9
Brežice	-	5	1	-	6	-	2	4	-	6
Celje	-	3	2	-	5	-	-	4	1	5
Nazarje	-	2	-	-	2	-	1	1	-	2
Slovenj Gradec	-	3	2	1	6	-	-	4	2	6
Maribor	-	3	6	-	9	-	2	7	-	9
Murska Sobota	-	2	3	-	5	-	-	5	-	5
Sežana	1	7	-	-	8	-	-	-	-	-
S k u p a j	5	51	29	1	86	-	22	53	3	78
%	6	59	34	1		-	28	68	4	
%	49	51				28	72			

Opomba: Na bioindikacijskih točkah kraškega gozdnogospodarskega območja 1.1988 niso bili nabrani vzorci za laboratorijske analize

Kranja, Ljubljane in Slovenj Gradca, kjer so poprečne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah najvišje (bioindikacijska točka Podgorje, kjer je bilo l.1987 v enoletnih iglicah 0,131 %S, v dvoletnih iglicah pa 0,155 %S).

Tabela 9: Poprečne vsebnosti žvepla v iglicah

Gozdnogospodarsko območje	enoletne		iglice	
	1985	1986	1987	1988
Tolmin.	(0,103)	0,102	0,095	0,119
Bled	0,116	0,113	0,104	0,118
Kranj	0,111	0,116	0,106	0,123
Ljubljana	-	0,119	0,123	0,122
Postojna	-	0,102	0,108	0,116
Kočevje	(0,095)	0,098	0,100	0,112
Novo mesto	0,108	0,100	0,099	0,106
Brežice	0,109	0,103	0,099	0,117
Celje	0,113	0,114	0,114	0,127
Nazarje	0,115	0,108	0,098	0,117
Slovenj Gradec	0,136	0,126	0,117	0,147
Maribor	0,113	0,106	0,115	0,122
Murska Sobota	-	0,108	0,111	0,127
Sežana	-	0,091	0,091	-
S k u p a j	(0,112)	0,107	0,106	(0,121)

Gozdnogospodarsko območje	dvoletne		iglice	
	1985	1986	1987	1988
Tolmin	(0,105)	0,102	0,098	0,123
Bled	0,120	0,117	0,110	0,127
Kranj	0,122	0,126	0,124	0,136
Ljubljana	-	0,131	0,126	0,137
Postojna	-	0,103	0,107	0,118
Kočevje	(0,099)	0,102	0,090	0,115
Novo mesto	0,114	0,106	0,102	0,113
Brežice	0,113	0,106	0,103	0,129
Celje	0,131	0,125	0,119	0,149
Nazarje	0,112	0,114	0,104	0,136
Slovenj Gradec	0,148	0,139	0,131	0,164
Maribor	0,120	0,112	0,123	0,132
Murska Sobota	-	0,111	0,109	0,138
Sežana	-	0,092	0,093	-
S k u p a j	(0,119)	0,113	0,110	(0,132)

" V oklepaju navedene vrednosti so poprečje nepopolnega števila bioindikacijskih točk na posameznem gozdnogospodarskem območju.

Popravnice vsebnosti žvepla po posameznih gozdnogospodarskih območjih so se iz leta v leto večinoma zmanjševale, le v gozdnogospodarskih območjih Postojna, Murska Sobota, Maribor in Ljubljana te vrednosti naraščajo, kar pomeni, da se na teh območjih imisijske razmere žvepla slabšajo. L.1988 so se popravnice vsebnosti žvepla v iglicah povečale prav na vseh gozdnogospodarskih območjih Slovenije.

3.4 ZAKLJUČEK

Iz vsega navedenega lahko povzamemo, da je bilo l.1987 na približno tretjini vseh točk osnovne 16 x 16 km bioindikacijske mreže imisijska žvepla tako visoka, da v njihovi okolici lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju tudi zaradi škodljivega delovanja žvepla. Po podatkih zadnjih raziskav l.1988 pa je drevje ogroženo od imisijske žvepla kar na dveh tretjinah vseh točk bioindikacijske mreže. Obremenitev gozdov z žveplom se v Sloveniji povečuje, posebno v industrijsko bolj razvitih območjih kot so Ljubljana, Maribor in Celje, v okolici večjih onesnaževalcev zraka z žveplovimi oksidi (Slovenj Gradec), pa tudi ponekod drugod, kjer v bližini sicer ni večjih onesnaževalcev zraka z žveplom (Postojna, severovzhodna Slovenija) verjetno pa prihaja onesnaženje iz oddaljenejših industrijskih središč (Trst, Istra, Reka, oz. Maribor in Celje).

V reliefno zelo razgibani pokrajini Slovenije nam podatki osnovne 16 X 16 km bioindikacijske mreže lahko dajejo le približno oceno o stanju imisijskih razmer žvepla v gozdovih Slovenije. Saj smo ugotovili, da nam razmeroma redko razmeščene bioindikacijske točke te mreže nakazujejo n.pr. majhno obremenjenost gozdov gozdnogospodarskega območja Nazarje z žveplom, čeprav je na tem območju eden največjih onesnaževalcev zraka z žveplovimi oksidi v Sloveniji, kar potrjujejo tudi podatki iz popisa l.1987 o visoki stopnji poškodovanosti gozdnega drevja na tem območju. Zato bi morali marsikje na območju SR Slovenije zgostiti mrežo bioindikacijskih točk, ali pa postaviti vmesne, po posebnem načrtu razmeščene profile bioindikacijskih točk, ki bi upoštevali specifične reliefne, mezoklimatske in druge razmere določenega območja. Le tako bi lahko dobili stvarnejšo predstavo o obremenjenosti slovenskih gozdov z žveplom.

3.5 POVZETEK

Med znanimi povzročitelji poškodb na gozdnem drevju so žveplovi oksidi najbolj razširjeni in učinkoviti. Rastline rastejo vedno na istem mestu. Pred neprijetnimi vplivi okolja se ne morejo

umakniti tako kot to lahko storita človek in žival, ampak morajo živeti v razmerah, katere pač so na rastišču. Pri tem zbirajo odložine onesnaženega okolja, med njimi tudi žveplo. Zato rastline oz. njihova tkiva uporabljamo kot bioindikatorje za oceno obremenjenosti okolja z žveplom.

Na točkah 16x16 km bioindikacijske mreže nabiramo vzorce iglic za laboratorijske analize. Vzorce nabiramo pozno jeseni in pozimi, ko vegetacija miruje. Glavna bioindikacijska drevesna vrsta je smreka (*Picea abies* Karst.), kjer smreka ne uspeva, pa izbiramo črni (*Pinus nigra* Arnold) in rdeči bor (*Pinus silvestris* L.). Vzorce nabiramo iz čimbolj vitalnih, nadraslih ali soraslih dreves. Na vsaki bioindikacijski točki vzamemo vzorce iz dveh dreves. Za analizo nabiramo vzorce enoletnih (polletnih) in dvoletnih iglic iz šest in pol let starih vej oz. iz vej sedmega drevesnega vretena.

Vsebnost žvepla v iglicah določujemo z aparaturo SULMHOMAT 12 ADG. Analizne rezultate iz vrednotimo po mejnih vrednostih za klasifikacijo vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, kot jih uporabljajo v Avstriji.

Po podatkih raziskave vzorcev, ki so bili nabrani jeseni l.1987, smo ugotovili, da je na dobri tretjini točk osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže obremenjenost gozdov z žveplom tako visoka, da v okolici teh točk lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju zaradi škodljivega delovanja žveplovih spojin. Najbolj obremenjene so točke v industrijsko razvitih območjih Ljubljane, Maribora in Celja ter v okolici Slovenj Gradca.

S primerjavo podatkov za leta 1985, 1986 in 1987 smo opazili, da se je vsebnost žvepla v iglicah iz leta v leto nekoliko zmanjševala. Ker doslej pri nas niso izvedli večjih ukrepov za zmanjševanje emisije žveplovega dvokisa, lahko nižje vsebnosti žvepla povezujemo le z ugodnejšimi vremenskimi razmerami. To potrjujejo podatki raziskave vzorcev, ki so bili nabrani jeseni l.1988. Rezultati te raziskave so mnogo višji kot so bili v prejšnjih letih. Kar dve tretjini točk sta z žveplom tako obremenjeni, da je v njihovi bližini lahko žveplo glavni vzrok poškodb na gozdnem drevju.

V reliefno zelo razgibani Sloveniji nam podatki osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže dajejo le približno oceno obremenjenosti gozdov z žveplom. Stvarnejšo predstavo o obremenjenosti lahko dobimo le na osnovi gostejše mreže bioindikacijskih točk, ki jih je treba skrbno postaviti glede na specifične reliefne, mezoklimatske in druge razmere posameznega območja.

3.6 SUMMARY

THE CONTAMINATION OF SLOVENE FORESTS WITH SULPHUR

Sulphur dioxide is the most widely spread and efficient among the known causes of damages on trees in forests. Plants grow in one and the same spot. They cannot withdraw from unpleasant impacts of the environment as man or animals can. They have to carry on living in conditions given on their site. As a results they collect the deposits of their polluted environment and among them sulphur as well. Plants and their tissues can therefore be used as bio-indicators when evaluating the degree of contamination of the environment with sulphur.

Samples of needles required for lab analysis are collected in the points of the 16 x 16 km bio-indication network. They are collected in late autumn or winter, when vegetation rests. The main bio-indication tree species is norway spruce (*Picea abies* Karst.), while in areas where spruce does not prosper, black pine (*Pinus nigra* Arnold) and Scots pine (*Pinus silvestris* L.) are collected. Samples are collected from trees which have to be as vital as possible and those either higher in growth or of the same height. In each bio-indication area we collect samples from two trees. Samples of one-year (half year) and two-year needles from six and a half year old branches, i.e. the branches of the seventh whirl are collected for analysis.

The sulphur contents in needles is determined with the SULMHOMAT 12-ADG instrument. The analysis results are evaluated according to the marginal value for the classification of sulphur contents in spruce needles - the same as they use in Austria.

According to data obtained through on samples collected in autumn 1987 it was established, that in one third of the plots of 16 x 16 km bio-indication network of forest decline research, sulphur contamination was so high, that we can expect damage on trees in forests surrounding these areas, a result of the damaging impact of sulphur compounds. The most contaminated are the industrially developed parts of Ljubljana, Maribor, Celje and the surroundings of Slovenj Gradec.

A comparison of data for 1985, 1986 and a987 shows, that the sulphur content slightly decreased from year to year. Since no major measures to decrease the emission of sulphur dioxide have yet been undertaken in this country, a lower sulphur content can only be attributed to favourable weather conditions. This was confirmed by data based on research on samples collected in autumn 1988. The results of this analysis show a much higher level of contamination than it had been in previous years. The entire two thirds are so contaminated with sulphur, that sulphur became the major cause of forest damage in the surroundings.

In a land as varied as Slovenia, data from the basis 16 x 16 km bio-indication network gives us only an average estimate of forest contamination with sulphur. A more realistic picture can be achieved on the basis of a more dense network of bio-indication plots which have to be very carefully placed, taking into account the specific configuration, the mezoclimatic and other conditions of each individual area.

3.7 LITERATURA

1. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji l.1987. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, 1987
2. Gasanalysen-Messanlage. Typ: "SULMHOMAT 12 ADG". Gebrauchsanleitungen. WÜSTHOFF GmbH, Messtechnik, Bochum, 1986
3. KREUTZSCHMAR, R.: Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum, Ausgewählte Laboratoriumsmethoden, Eine Anleitung zum selbständigen Arbeiten an Böden, 4.Auflage. Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, 1984
4. STEFAN, K.: Bioindikatornetz Kärnten 1985. Ergebnisse der Schwefelanalysen. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 1986 (tipkopolis)
5. Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Wien, 1982. 196.Stück

KORELACIJA ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA
DOLOČENIH Z APARATURAMA SULMHOMAT 12-ADG IN LECO SC-132

Izvleček

KORELACIJA ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURAMA SULMHOMAT 12-ADG IN LECO SC-132

Analizni postopek določevanja žvepla v organskih snoveh z napravo SULMHOMAT 12-ADG je bil ustaljen s pripravo standardnega vzorca za umerjanje aparature, z določitvijo časa trajanja analiznega postopka in z izenačevanjem slepe vrednosti aparature v analiznem rezultatu preiskanega vzorca. Izveden je preizkus natančnosti analiznih rezultatov, ki jih daje aparatura SULMHOMAT 12-ADG in ugotovljena je korelacija med analiznimi rezultati vsebnosti žvepla, dobljenimi z aparaturama LECO SC-132 in SULMHOMAT 12-ADG.

Ključne besede: kemijska analiza, natančnost rezultatov, primerljivost rezultatov

Abstract

CORRELATION OF THE ANALYSIS RESULTS AS TO THE CONTENT OF SULPHUR ESTABLISHED BY MEANS OF THE SULMHOMAT 12-ADG AND THE LECO SC-132 INSTRUMENTS

The analysis process of the establishing of sulphur in organic matter by means of the SULMHOMAT 12-ADG was performed by the preparation of a standard sample for calibration, by the defining of the duration of the analysis process and by the approximating of the instrument's random value in the analysis result of the sample researched. The accuracy test of analysis results achieved by the SULMHOMAT 12-ADG instrument was carried out and the correlation between the analysis results as to the content of sulphur, achieved in the LECO SC-132 and the SULMHOMAT 12-ADG was established.

Key words: chemical analysis, data accuracy, comparability of results

4.1 UVOD

Velik obseg poškodovanega drevja raziskovalci povezujejo tudi z onesnaženostjo zraka. Pri tem ima veliko vlogo žveplov dioksid. Zato je bioindikacija žvepla med stalnimi raziskovalnimi postopki, ki jih izvajamo v zvezi s proučevanjem pojavov propadanja gozdnega drevja. Ker je propadanje gozdov mednarodni problem, je pomembno, da so raziskave teh pojavov vsklajene, rezultati pa mednarodno primerljivi.

Vsebnost žvepla v rastlinskih tkivih lahko določamo z različnimi analiznimi postopki. Pri tem opažamo, da analizni rezultati, dobljeni po različnih postopkih, niso vedno enaki, ampak se velikokrat bolj ali manj razlikujejo med seboj. Tako je ŠOLAR razmeroma kmalu opozoril, da se naši rezultati bioindikacije žvepla razlikujejo od rezultatov, ki jih prikazujejo v sosednji Avstriji. Prikrojil je mejne vrednosti za razvrstitev vsebnosti žvepla v razrede (Šolar, 1986). Z željo, da bi te mejne vrednosti čim bolj objektivno preoblikovali, smo izvedli posebno raziskavo, s katero naj bi ugotovili korelacijo analiznih rezultatov vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, ki jih ugotavljamo na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani z napravo SULMHOMAT 12-ADG, z enakimi rezultati, določenimi z aparaturo LECO SC-132 na Forstliche Bundesversuchsanstalt na Dunaju. V raziskavi so sodelovali še sodelavci hrvaškega gozdarskega inštituta v Jastrebarskem, kjer žveplo določujejo z aparaturo LECO SC-132, enako kot na Dunaju. Vsem, ki so sodelovali v raziskavi, prav lepa hvala.

4.2 METODE PROUČEVANJA IN REZULTATI

4.2.1 PRIPRAVA VZORCEV ZA ANALIZO

Suhe vzorce rastlinskih tkiv zmeljemo v prah, da bi tako dobili čim bolj homogen vzorec za kemijsko analizo. Čim bolj je vzorec zdrobljen, tem bolj je homogen in točnejši je analizni rezultat. Tako pripravljen vzorec zatehtamo v žarilno ladjico in ga po njej čim bolj enakomerno razporedimo. Po potrebi ga še prekrijemo s kremenčevim peskom, da bi zgorevanje vzorca v aparaturi potekalo čim bolj enakomerno in brez buhanja.

4.2.2 DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG

Aparatura SULMHOMAT deluje po konduktometrijski metodi. Sestavljajo jo trije deli:

- naprava za podajanje vzorca
- peč za zgorevanje
- merilna naprava.

Naprava za avtomatično podajanje vzorcev vedno z enako hitrostjo pomika žarilno ladjico z vzorcem v razžarjeni del peči. Hitrost pomika se lahko spreminja v okviru desetih stopenj od $0,1 - 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Drugi del aparature je zgorevalna peč. Vzorec v njej zgori pri temperaturi 1350°C . Ob dovajanju kisika žveplo zgori do žveplovega dioksida (SO_2).

Plini iz peči neprekinjeno prehajajo v merilni del aparature. Žveplov dioksid (SO_2) v posodi z reakcijsko raztopino (H_2O_2 in H_2SO_4 razredčena v destilirani vodi) reagira z vodikovim peroksidom (H_2O_2) in prehaja v žvepleno kislino (H_2SO_4). S tem se spreminja elektroprevodnost reakcijske raztopine. Elektrode zaznavajo spremenjeno elektroprevodnost raztopine v primerjavi s prevodnostjo čiste raztopine. Razlika napetosti se v aparaturi ojača in prenese na števec, kjer lahko odčitamo rezultat v % glede na zatehto 100 mg vzorca.

Aparaturo umerjamo s sulfanilno kislino.

4.2.3. DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO LECO SC-132

Aparatura LECO SC-132 deluje po principu infrardeče spektroskopije. Vsaka aparatura je sestavljena v enem kosu.

Keramično posodico, ki je odporna na visoko vročino, z zatehtanim vzorcem potisnemo v zgorevalno peč, v katero uvajamo kisik. Vzorec zgori pri temperaturi okoli 1600°C . Pri tem žveplo oksidira v žveplov dioksid. Žveplov dioksid absorbira energijo specifične valovne dolžine infrardečega spektra. Zelo občutljiv filter prepušča k detektorju samo energijo tiste valovne dolžine, ki jo absorbira žveplov dioksid. Infrardeča energija je zmanjšana za toliko, kolikor jo je absorbiral žveplov dioksid. Detektor tako izmeri koncentracijo žveplovega dioksida kot energijo. Preko računalnika izpiše rezultate izražene v %S. Za umerjanje aparature uporabljajo premogov prah s poznano vsebnostjo žvepla, ki ga proizvajalec aparature priporoča kot standard za te namene.

4.2.4 STANDARDIZIRANJE ANALIZNEGA POSTOPKA ZA DOLOČEVANJE VSEBNOSTI ŽVEPLA Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG

Čeprav aparatura SULMHOMAT 12-ADG deluje avtomatsko, je pri analiznem postopku z njo vrsta opravil, ki smo jih posebej preverili in opredelili, da bi lahko dosegli čimbolj natančne analizne rezultate. Med ta opravila sodi umerjanje aparature in določitev trajanja analiznega postopka.

Aparaturo umerjamo s sulfanilno kislino. Vsebnost žvepla v njej (18,5%) pa je tako velika, da z običajno analitsko tehtnico ne moremo točno zatehtati ustreznih majhnih količin kisline za umerjanje aparature. Zato sulfanilno kislino razredčimo in sicer tako, da jo zmešamo s škrobom. Zmes 0,1082g sulfanilne kisline in 19,8918 škroba vsebuje 0,1% S, kar odgovarja spodnjemu delu merilnega območja pričakovanih vsebnosti žvepla v preiskovanih vzorcih.

Tudi kadar deluje aparatura brez preiskovanega vzorca, kaže na števcu nek odklon (zamik bazne linije), ima neko slepo vrednost. Slepo vrednost aparature odklanjamo tako, da smo določili za vse preiskane vzorce enak čas poteka analize. Z opazovanjem poteka večjega števila analiz vzorcev z različno vsebnostjo žvepla, od najmanjše do največje vsebnosti žvepla, ki jo aparatura lahko zazna (0-0,3% S v 100mg vzorca), smo ugotovili, da se sproščanje žveplovega dioksida in njegovo zaznavanje na števcu zaključi najkasneje po štirih minutah in pol. Zato v našem laboratoriju izvajamo vse analize vsebnosti žvepla v vzorcih tako, da traja analiza točno pet minut od trenutka, ko smo sprožili napravo za podajanje vzorca. Hitrost pomika je pri tem naravnana na $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.2.5 PREVERJANJE NATANČNOSTI ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURO SULMHOMAT 12-ADG

Natančnost analiznih rezultatov vsebnosti žvepla smo preverili iz dveh različnih vidikov. Preverjali smo:

- natančnost določitve enega vzorca in
- linearnost merilnega območja aparature.

Natančnost določitve enega vzorca smo preverjali tako, da smo enemu vzorcu desetkrat ponovili analizo vsebnosti žvepla. V ta namen smo vzeli vzorec premogovega prahu, ki vsebuje 0,52% S in ga proizvajalec aparature LECO priporoča kot standard za umerjanje aparature. Ker je vsebnost tega vzorca previsoka za našo aparaturo, katere merilno območje je 0,001-0,300% S v zatehti 100 mg, smo za naše potrebe zmanjšali zatehto na 50 mg, pri kateri pričakujemo rezultate na aparaturi okoli 0,26%. Analizni rezul-

tati te preiskave so v tabeli 1. V tabeli navedene statistične pokazatelje smo izračunali s programom DESCRIPTIVES (Mikulič, 1986).

Tabela 1: Analizni rezultati vzorca premogovega prahu z vsebnostjo 0,52% S pri zatehti 50 mg

Meritev	Vsebnost % S
1	0.266
2	0.267
3	0.267
4	0.268
5	0.268
6	0.270
7	0.267
8	0.270
9	0.266
10	0.268
aritm.sr.	0.268
maksimum	0.270
minimum	0.266
vari.razm.	0.004
stand.odk.	0.001

Lineranost merilnega območja aparature smo preverjali z že opisano zmesjo sulfanilne kisline s škrobom, ki jo uporabljamo za umerjanje aparature. Zatehtali smo

50 mg zmesi, kar ustreza rezultatu na aparaturi	0.05% S
100 mg	0.10% S
150 mg	0.15% S
200 mg	0.20% S
250 mg	0.25% S
300 mg	0.30% S

pri zatehti 100 mg.

Za vsako navedeno točko merilnega območja smo zatehtali po tri vzorce in jih analizirali. Analizni rezultati so prikazani v naslednji tabeli (Tabela 2).

Tabela 2: Analizni rezultati standardnega vzorca merjenega v različnih točkah merilnega območja (podatki so prikazani v % S)

Točke merilnega območje	1.meritev	2.meritev	3.meritev	Poprečno
0.05%S	0.052	0.051	0.051	0.0513
0.10%S	0.100	0.099	0.100	0.0997
0.15%S	0.149	0.151	0.151	0.1503
0.20%S	0.203	0.202	0.204	0.2030
0.25%S	0.254	0.256	0.256	0.2553
0.30%S	0.310	0.311	0.309	0.3100

Ker smo želeli dognati, ali analizni rezultati korelirajo s pričakovanimi vrednostmi, smo izvedli s programom REGRESSION (Mikulič, 1986) še izračun multiple regresije za odvisno spremenljivko pričakovana vrednost (y), ki je v tabeli 2 enaka vrednostim posameznih točk merilnega območja. Podatki izračuna so naslednji:

Tabela 3: Odvisnost pričakovanih vrednosti od analiznih rezultatov

Statistike	1.korak	2.korak
R	0.99981	0.99999
R ²	0.99961	0.99998
stand.napaka	0.00205	0.00055
a	0.00309	-0.00293
b	0.96488	1.05289
c		-0.24403

Iz analiziranih vrednosti (x) si lahko izračunamo pričakovane vrednosti (y) po naslednjem obrazcu:

$$y = - 0.003 + 1.053x - 0.244x^2$$

4.2.6 KORELACIJA ANALIZNIH REZULTATOV VSEBNOSTI ŽVEPLA DOLOČENIH Z APARATURAMA SULMHOMAT 12-ADG IN LECO SC-132

Analizne podatke za proučevanje korelacije smo dobili tako, da smo devet vzorcev (vzorci 1-9) z različno vsebnostjo žvepla, ki smo jih analizirali na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG, poslali na Dunaj, na Forstliche Bundesversuchsanstalt, kjer so jih analizirali še z aparaturo LECO SC-132. Nato so nam še z Dunaja poslali svojih 11 že analiziranih vzorcev (vzorci A-K), da smo jim določili vsebnost žvepla še z našo aparaturo. Kasneje smo vseh 20 vzorcev poslali še na Šumarski inštitut v Jastrebarskem, kjer so jih analizirali z enako napravo LECO SC-132, kot jo imajo na Dunaju. Za izračun korelacije smo vzeli poprečne podatke o treh analizah na aparaturi SULMHOMAT 12-ADG in poprečne rezultate dveh meritev z aparaturo LECO SC-132, ki so jih izvedli na Dunaju in v Jastrebarskem. Podatki o srednjih vrednostih analiznih rezultatov na obeh aparataturah so v naslednji tabeli.

Tabela 4: Poprečne vrednosti analiznih rezultatov vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, določenih z aparaturama LECO SC-132 in SULMHOMAT 12-ADG

Vzorec	LECO % S	SULMHOMAT % S
1	0.214	0.216
2	0.275	0.265
3	0.460	0.430
4	0.340	0.325
5	0.410	0.383
6	0.098	0.116
7	0.147	0.153
8	0.061	0.083
9	0.068	0.086
A	0.077	0.098
B	0.087	0.111
C	0.091	0.107
D	0.100	0.118
E	0.121	0.138
F	0.139	0.153
G	0.137	0.137
H	0.143	0.141
I	0.167	0.173
J	0.186	0.199
K	0.168	0.155

Za izračun korelacije, ki smo ga izvedli s programom REGRESSION (Mikulič, 1988), smo dobili naslednje statistične pokazatelje:

R	0.99775
R ²	0.99550
stand.napaka	0.00780
Ca	-0.03139
Cb	1.14769

4.3 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Velik obseg poškodovanega drevja in z njim povezano propadanje gozdov je mednarodni problem, ki ga spremlja in proučuje vsaka država oz. dežela sama, po svojih možnostih. Prizadevamo pa si, da bi bili rezultati teh raziskav mednarodno čimbolj primerljivi. Med temi raziskavami so tudi laboratorijske analize vsebnosti žvepla v rastlinskih tkivih, s katerimi ugotavljamo obremenjenost gozdov z žveplom, ki je v obliki žveplovega dioksida eden najbolj razširjenih in učinkovitih povzročiteljev poškodb na gozdnem drevju. Metodo bioindikacije žvepla smo prevzeli od Avstrijcev. ŠOLAR je kmalu opazil, da se naši rezultati ne ujemajo dobro z avstrijskimi in da pri nas verjetno dobivamo nekoliko drugačne analize rezultate o vsebnosti žvepla v iglicah kot v Avstriji. Te razlike bi lahko nastale zaradi različnih analitskih postopkov, ki jih uporabljamo. Pri nas analiziramo vzorce z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG, ki je zgrajena v Zvezni republiki Nemčiji, v Avstriji pa analizirajo vzorce z aparaturo LECO SC-132, ki so jo razvili v Združenih državah Amerike.

Aparaturi LECO SC-132 in SULMHOMAT 12-ADG sta namenjeni hitremu in točnemu določevanju vsebnosti žvepla v vzorcih organskih snovi. Vsaka aparatura deluje po nekoliko drugačnem analiznem postopku. Zato je mogoče, da se analizni rezultati istih vzorcev, določeni z eno aparaturo nekoliko razlikujejo od rezultatov, analiziranih z drugo napravo.

Ko smo na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo že dalj časa delali z aparaturo SULMHOMAT ADG-12, smo spoznali nekatere kritične faze analiznega postopka. Posebno pozorni smo bili na:

- umerjanje aparature s standardom
- zamik bazne linije aparature oz. njeno slepo vrednost in
- trajanje analiznega postopka.

Proizvajalec priporoča, da aparaturo umerjamo s sulfanilno kislino. Aparatura je prilagojena nizkim vsebnostim žvepla 0,001-0,300%S v zatehti 100 mg vzorca, kar odgovarja 1-300 mikrogramom žvepla. Ker sulfanilna kislina vsebuje 18% žvepla, ni mogoče dovolj natančno zatehtati tako majhne količine kisline, da bi z njo lahko umerili aparaturo. Zato smo pripravili za umerjanje aparature standard v obliki zmesi sulfanilne kisline in škroba v takšnem razmerju, da zmes vsebuje 0,1%S.

Pri rednem analiznem delu smo opazili, da se na aparaturi prikazuje nek rezultat tudi takrat, ko v njej ni vzorca za preiskavo. Rezultat se veča vsako minuto za približno 0,003%S. Ta zamik bazne linije aparature nastaja zato, ker suhi plini iz zgorevalne peči izparevajo del reakcijske raztopine, ko prehajajo skozi to raztopino. Zaradi izhlapevanja vode se veča koncentracija raztopine in s tem tudi njena elektoprevodnost. Rezultat, ki se zato prikazuje na aparaturi, je njena slepa vrednost, ki jo moramo upoštevati pri končnem rezultatu. Upoštevamo

jo tako, da takrat, ko pri analizi vzorca standarda nastopi faza odčitavanja analiznega rezultata, naravnamo na aparaturi vrednost za žveplo, ki jo ima standard (0,1%S).

Pri delu z aparaturo smo opazili, da se sproščanje žveplovega dioksida iz vzorca in zaznavanje žvepla na napravi zaključí najkasneje po štirih minutah in pol. Zato smo prilagodili delo z aparaturo tako, da analiza preiskovanega vzorca traja točno pet minut od trenutka, ko smo sprožili napravo za podajanje vzorca v peč za zgorevanje. Hitrost pomika vzorca je naravnana na $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Pri stalno enakem pomiku vzorca v peč in pri vedno enakem času trajanja analize imajo vsi preiskani vzorci enake tiste analizne pogoje, ki jih sami uravnavamo pri delu z aparaturo. Tudi umerjanje aparature s standardnim vzorcem zaključimo po petih minutah.

Zanimala nas je natančnost analiznih rezultatov, ki jih posreduje naprava SULMHOMAT 12-ADG. Preverjali smo natančnost rezultata vsebnosti žvepla v enem vzorcu in linearnost merilnega območja aparature.

V prvem primeru smo analizirali premogov prah z 0,52%S, ki ga v navodilih za uporabo naprave LECO SC-132 priporočajo kot standard za umerjanje aparature. Vsebnost žvepla v tem standardu je previsoka za normalno delo z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG, ki ima merilno območje 0,001-0,300%S v zatehti 100 mg. Zato smo vzeli za analizo polovično zatehto (50 mg), pri kateri bi bil pravilen rezultat na aparaturi 0,26%S. Pri desetih ponovitvah analize smo dobili analizne rezultate (glej tabelo 1), pri katerih se najvišja vrednost (0,270%S) razlikuje le za 0,004%S od najnižjega analiznega rezultata (0,266%S). Poprečna vsebnost žvepla v preiskanem vzorcu je 0,268%S s standardnim odklonom 0,001 od srednje vrednosti. Srednja zaokrožena vrednost 0,27%S se na zadnjem mestu razlikuje samo za eno enoto (0,01) od pravičnega rezultata 0,26%S, iz česar lahko sklepamo, da je delovanje aparature SULMHOMAT 12-ADG na našem inštitutu zelo dobro.

Linearnost merilnega območja aparature SULMHOMAT 12-ADG smo preverjali z določevanjem vsebnosti žvepla v že omenjeni zmesi sulfanilne kisline in škroba, ki jo uporabljamo za umerjanje aparature. Z različnimi zatehtami smo dobili analizne rezultate iz različnih točk merilnega območja aparature, ki so se med seboj razlikovali za po 0,05%S. Za vsako točko smo analizirali po tri vzorce. Ker umerjamo aparaturo s standardom, ki ustreza 0,100%S v 100mg vzorca, se tudi analizni rezultati za to točko merilnega območja najbolj približujejo pravičnemu rezultatu 0,100%S. Iz podatkov v tabeli 2 lahko ugotovimo, da se analizne vrednosti v merilnem območju 0,05-0,20%S le neznatno razlikujejo od pravičnih rezultatov, v točkah 0,25%S in 0,30%S je to odstopanje nekoliko večje, vendar še vedno zelo majhno.

Z izračunom multiple regresije za odvisno spremenljivko pričakovana vrednost (y), ki je enaka pravilnim rezultatom v posameznih točkah merilnega območja aparature SULMHOMAT 12-ADG, smo ugotovili skoraj pravo funkcijsko odvisnost od analiznih rezultatov, saj smo z metodo STEPWISE uspeli pojasniti skoraj 100% ($R^2 = 0,99998$) variabilnosti. Iz analiznih vrednosti (x) si lahko izračunamo pričakovane vrednosti (y) po obrazcu:

$$y = - 0.003 + 1.053x - 0.244x^2$$

Ko smo tako izpopolnili analizni postopek pri delu z aparaturo in se prepričali o stopnji natančnosti analiznih rezultatov, ki jih dobivamo z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG, smo pristopili k proučevanju korelacije analiznih rezultatov, določenih z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG in rezultatov, ki jih dobivajo z aparaturo LECO SC-132. Z zveznim gozdarskim inštitutom na Dunaju (Forstliche Bundesversuchsanstalt) smo si izmenjali nekaj vzorcev smrekovih iglic in jih analizirali na obeh napravah. Nato smo vse vzorce poslali še na šumarski institut v Jastrebarskem, kjer so jih analizirali z enako napravo LECO, kot jo imajo na Dunaju. Srednjim vrednostim analiznih rezultatov, merjenih na dveh različnih aparataturah, smo preizkusili korelacijo. Ugotovili smo, da odvisnost analiznih rezultatov, določenih z aparaturo LECO SC-132 korelira z analiznimi rezultati, dobljenimi z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG. Pojasnjenih je 99,55% variabilnosti. Analizne rezultate, določene z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG (x), lahko primerjamo z rezultati, ki bi jih dobili z aparaturo LECO SC-132 (y), z naslednjim matematičnim obrazcem:

$$y = - 0.031 + 1.148 x$$

Naših analiznih rezultatov ne bomo vsakokrat preračunavali po zgornjem obrazcu na vrednosti, ki bi jih dobili z aparaturo LECO, ampak jih bomo razvrščali v vsebnostne razrede žvepla po tablici mejnih vrednosti, ki so preračunane po zgornjem obrazcu. Zaradi popolnega pregleda navajamo tri tabele mejnih vrednosti in sicer mejne vrednosti, ki jih uporabljajo v Avstriji, mejne vrednosti, kot jih je 1.1986 modificiral ŠOLAR, in mejne vrednosti, preračunane po zgornjem obrazcu za aparaturo SULMHOMAT 12-ADG.

Tabela 5a: Mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah (STEFAN,1986)

Razred vsebnosti žvepla	Vsebnost žvepla (S)v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,080	do 0,100
2	0,081 - 0,110	0,101 - 0,140
3	0,111 - 0,150	0,141 - 0,190
4	nad 0,151	nad 0,191

Tabela 5b: Modificirane mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah (ŠOLAR,1986)

Razred vsebnosti žvepla	Vsebnost žvepla (S)v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,090	do 0,110
2	0,091 - 0,110	0,111 - 0,140
3	0,111 - 0,130	0,141 - 0,170
4	nad 0,131	nad 0,170

Tabela 5c: Modificirane mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah, določenih z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG.

Razred vsebnosti žvepla	Vsebnost žvepla (S)v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,097	do 0,114
2	0,098 - 0,123	0,115 - 0,149
3	0,124 - 0,158	0,150 - 0,192
4	nad 0,159	nad 0,193

4.4 POVZETEK

Poškodbe gozdnega drevja, ki jih povzroča žveplo, posredno ugotavljamo z vsebnostjo žvepla v rastlinskih tkivih (iglice, listje). Vsebnost žvepla lahko določimo z različnimi kemijskimi postopki in analiznimi napravami. Zaradi različnih postopkov se

analizni rezultati istih vzorcev lahko razlikujejo med seboj. Ker smo v Sloveniji prevzeli metodologijo bioindikacije žvepla, ki jo uporabljajo v sosednji Avstriji, želimo, da bi bili naši analizni rezultati vsebnosti žvepla čimbolj primerljivi z avstrijskimi rezultati. L.1986 je ŠOLAR opozoril, da se naši rezultati, ki jih dobivamo z napravo za določevanje žvepla SULMHOMAT 12-ADG razlikujejo od avstrijskih rezultatov, ki jih določujejo z napravo LECO SC-132. Želeli smo, da bi čimbolj objektivno ocenili analize rezultate, dobljene z obema aparaturama. Zato smo zasnovali posebno raziskavo. V prvi fazi raziskave smo standardizirali analizni postopek določevanja žvepla v rastlinskih snoveh z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG in preiskusili natančnost dobljenih analiznih rezultatov. V drugi fazi pa smo korelirali analize rezultate vsebnosti žvepla v 20 vzorcih, ki smo jih analizirali pri nas z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG, analizirani pa so bili še z aparaturo LECO SC-132 na zveznem gozdarskem inštitutu (Forstliche Bundesversuchsanstalt) na Dunaju in na hrvaškem gozdarskem inštitutu (Šumarski institut) v Jastrebarskem.

Pri standardiziranju analiznega postopka smo bili posebej pozorni na umerjanje aparature s standardom, na zamik bazne linije aparature oz. njeno slepo vrednost in na čas trajanja analiznega postopka.

Aparaturo umerjamo s sulfanilno kislino, ki vsebuje 18% žvepla. Da bi lažje in bolj točno umerjali aparaturo, smo za standardni vzorec pripravili takšno zmes sulfanilne kisline in škroba, ki vsebuje 0,1%S.

Zamik bazne linije aparature opažamo takrat, ko v aparaturi ni vzorca za preiskavo, rezultat na napravi pa se večja vsako minuto za približno 0,003%S. Ta zamik bazne linije predstavlja slepo vrednost aparature. Izravnamo jo ob umeritvi aparature s standardom.

Analizni postopek izvajamo točno pet minut, pri tem je hitrost pomika vzorca v peč za zgorevanje naravnana na $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Natančnost analiznih rezultatov, ki jih posreduje naprava SULMHOMAT 12-ADG, smo preverjali z natančnostjo rezultata vsebnosti žvepla v enem vzorcu in s preiskusom linearnosti merilnega območja aparature. V prvem primeru smo analizirali premogov prah z znano vsebnostjo žvepla, ki ga uporabljajo za umerjanje aparature LECO SC-132. Pri desetih ponovitvah je bil največji rezultat 0,270%S, najnižji 0,266%S, poprečni 0,266%S pri pravilnem rezultatu 0,26%S, kar dokazuje zelo visoko natančnost delovanja aparature. Linearnost merilnega območja aparature pa smo preverjali z zmesjo sulfanilne kisline in škroba, ki jo uporabljamo za umerjanje aparature. Z različnimi zatehtami standardnega vzorca smo preverjali naslenje točke merilnega območja: 0,05%S, 0,10%S, 0,15%S, 0,20%S, 0,25%S in 0,30%S. V merilnem območju 0,05-0,20%S

so se rezultati le neznatno razlikovali od pravih rezultatov, v točkah 0,25% in 0,30% pa je bilo odstopanje nekoliko večje (0,255% oz. 0,310%), vendar še vedno razmeroma majhno.

Srednjim vrednostim analizi rezultatov vsebnosti žvepla 20 vzorcev, analiziranih na aparaturi SULMHOMAT 12-ADG in na aparaturah LECO SC-132, smo preiskovali korelacijo. Odvisnost analizi rezultatov, dobljenih z aparaturo LECO SC-132 (y) korelira z analizi rezultati, dobljenimi z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG (x) po obrazcu:

$$y = -0,031 + 1,148x.$$

Po tem obrazcu preračunane mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah so v tabeli 5c na strani 45.

4.5 ZUSAMMENFASSUNG

KORRELATION DER ANALYSENERGEBNISSE DES SCHWEFELGEBHALTS DETERMINIERT DURCH DIE SULMHOMAT 12-ADG UND LECO SC-132 APPARATUREN

Die Waldschäden, die durch Schwefel verursacht werden, werden indirekt mit dem Schwefelgehalt in Pflanzengewebe (Nadeln, Blätter) festgestellt. Der Schwefelgehalt kann mit verschiedenen chemischen Prozessen und Analysenanlagen bestimmt werden. Die Resultate der Analysen von denselben Proben können wegen verschiedener Prozesse unterschiedlich sein. Weil in Slowenien die Methodologie der Schwefelbioindikation, die im Nachbarstaat Österreich verwendet wird, übernommen wurde, wird es bestrebt, dass die slowenischen Analysenergebnisse des Schwefelgehalts soweit wie möglich mit den österreichischen Resultaten vergleichbar würden. 1986 hat ŠOLAR darauf aufmerksam gemacht, dass die Resultate, die mit der Schwefelbestimmungsanlage SULMHOMAT 12-ADG bestimmt werden, unterschiedlich von österreichischen Resultaten sind, die mit der LECO SC-132 Anlage festgestellt werden. Es wurde bestrebt, dass die Analysenergebnisse der beiden Anlagen soweit wie möglich objektiv geschätzt würden. Deswegen hat man mit einer besonderen Untersuchung aufgefangen. In der ersten Phase der Untersuchung wurde das Analysenprozess der Schwefelbestimmung in Pflanzengewebe mit der SULMHOMAT 12-ADG Anlage standardisiert und die Genauigkeit der Analysenergebnisse wurden geprüft. In der zweiten Phase wurden die Analysenergebnisse des Schwefelgehalts in 20 Proben korreliert, die in Slowenien mit der SULMHOMAT 12-ADG Anlage analysiert wurden. Sie wurden jedoch auch mit der LECO SC-132 Anlage in der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien und im Forstwissenschaftlichen Institut in Jastrebarsko in Kroatien analysiert.

Beim Standardisierung des Analysenprozesses hat man besonderen Wert auf die Justierung der Anlage mit dem Standard, auf die Abweichung der Basislinie des Instruments oder seinen Blindwert und auf die Zeit der Prozessdauern gelegt.

Die Anlage wird mit der Sulfanilsäure, die 18% von Schwefel enthält, justiert. Um die Justierung um so genau und leicht wie möglich zu machen hat man für das Standardprobe eine solche Mischung der Sulfanilsäure und Stärke vorbereitet, die 0,1% von S enthält.

Die Abweichung der Basislinie der Anlage wird damals festgestellt, wenn es der Anlage keine Untersuchungsprobe gibt, aber das Resultat in der Anlage vergrössert sich um etwa 0,003% von S jede Minute. Diese Abweichung der Basislinie wird als Blindwert des Instruments angesehen. Es wird bei der Justierung der Anlage mit dem Standard ausgeglichen.

Das Analysenprozess wird genau jede fünf Minuten durchgeführt, wobei die Geschwindigkeit des Probeeinschubs in den Verbrennungsofen auf 1 mm.s^{-1} eingestellt wird.

Die Genauigkeit der Analysenresultate, die in der SULMHOMAT 12-ADG Anlage erhalten werden, wurden mit der Genauigkeit des Resultats des Schwefelgehalts in einer Probe und durch den Test der Linearität des Messgebiets der Anlage geprüft. Im erstenn Fall hat man den Kohlenstaub mit dem bekannten Schwefelgehalt, der für die Eichung des LECO SC-132 Instruments verwendet wird, analysiert. Nach zehn Wiederholungen war der höchste Wert 0,270% von S, der niedrigste 0,266% S, das durchschnittliche Resultat 0,266% S bei einem richtigen Resultat von 0,26% S, was einen sehr hohen Grad der Genauigkeit der Anlagetätigkeit beweist. Die Linearität des Messbereiches der Anlage wurde mit der Mischung der Sulfanilsäure und Stärke geprüft, die für die Eichung des Instruments verwendet wird. Mit verschiedenen Werten der Standardprobe wurden die folgenden Messbereichspunkte geprüft: 0,05% S, 0,10% S, 0,15% S, 0,20% S, 0,25% S und 0,30% S. Im Messbereich 0,05-0,20% S waren die Abweichungen von der richtigen Resultaten sehr gering, in den Punkten 0,25% S und 0,30% S war die Abweichung etwas grösser (0,255% S und 0,310% S) was aber noch immer verhältnismässig wenig ist.

Den Mittelwerten der analysierten Resultate des Schwefelgehalts in 20 Proben, die in der SULMHOMAT 12-ADG Anlage und in den LECO SC-132 Instrumenten analysiert wurden, hat man die Korrelation geprüft. Die Abhängigkeit der Analysenresultate in der LECO SC-132 Anlage (y) korreliert mit den Analysenresultaten in der SULMHOMAT 12-ADG Anlage (x) und zwar nach der Formel:

$$y = -0,031 + 1,148x.$$

Die Grenzwerte für die Klassifikation des Schwefelgehalts in einjährigen in zweijährigen Fichtennadeln, die mittels dieser Formel errechnet werden, sind in der Tabelle 5c auf Seite 45 enthalten.

4.6 LITERATURA

- * Gasanalysen-Messanlage. Typ: "SULMHOMAT 12 ADG". Gebrauchsanleitungen. WÖSTHOFF GmbH, Messtechnik, Bochum, 1986
- KREUTZSCHMAR, R.: Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum, Ausgewählte Laboratoriumsmethoden, Eine Anleitung zum selbständigen Arbeiten an Böden, 4.Auflage. Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, 1984
- MIKULIČ, V.: SPSS. Navodilo za uporabo na osebni računalnikih. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, 1988
- STEFAN, K.: Bioindikatornetz Kärnten 1985. Ergebnisse der Schwefelanalysen. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 1986 (tipkopis)
- ŠOLAR, M.: Umiranje gozdov in raba lesa. Posvetovanje v Mariboru 25.oktobra 1986. Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije. Ljubljana, 1986
- Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Wien, 1982, 196.Stück

OBREMENJENOST GOZDOV Z ŽVEPLOM L.1989

Izvleček

OBREMENJENOST GOZDOV Z ŽVEPLOM L.1989

Na slabi polovici točk osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže Slovenije je vsebnost žvepla v iglicah tako visoka, da so možne poškodbe gozdnega drevja od žvepla. Poprečno so z žveplom najmanj obremenjena gozdnogospodarska območja Kočevje, Postojna, Tolmin, Novo mesto in Sežana, najbolj obremenjena pa so območja Nazarje, Celje, Ljubljana in Murska Sobota. Poprečna obremenitev gozdom z žveplom je bila l.1986 in 1987 nekoliko nižja kot l.1985, l.1988 in 1989 pa se je povečala.

Ključne besede: bioindikacijska mreža, analiza iglic, vsebnost žvepla, izrednotenje rezultatov, obremenjenost gozda, Slovenija, gozdnogospodarsko območje

Abstract

SULPHUR POLLUTION DEGREE OF FORESTS IN 1989

In less than one half of the points in the basic bioindication network of 16x16km in Slovenia the content of sulphur in needles is so high that the forest tree damage due to sulphur is quite possible. On the average, the lowest degree of sulphur pollution was established in forest enterprise areas of Kočevje, Postojna, Tolmin, Novo mesto and Sežana and the highest in those of Nazarje, Celje, Ljubljana and Murska Sobota. The average sulphur pollution of forests was a little lower in 1986 and 1987 than it was in 1985 but in 1988 and 1989 it again escalated.

Key words: bioindication network, needle analysis, sulphur content, evaluation of results, forest pollution degree, Slovenia, forest enterprise area

5.1 UVOD

Pri proučevanju poškodovanega drevja želimo spoznati vzroke poškodb. Med znanimi vzroki pri nas so tudi žveplovi oksidi. Dosedanje raziskave (ŠOLAR,1986a, ŠOLAR,1986b, KALAN,1989) kažejo, da so z njimi gozdovi v Sloveniji precej obremenjeni. V odvisnosti od vsakoletne velikosti emisije žveplovih oksidov in od vremenskih razmer, se tudi onesnaženje gozdov z žveplovimi spojinami vsako leto zelo različno pojavlja v slovenskem prostoru. Prav zato je potrebno, da z metodo bioindikacije stalno spremljamo obremenjenost gozdov z žveplom, da bi bolje spoznali mehanizme širjenja onesnaženja z žveplovimi spojinami na območju Slovenije ter nastajanje poškodb gozdnega drevja in da bi lahko z rezultati opazovanj ustrezno posredovali na tistih pristojnih mestih, kjer bi lahko ukrepali, da bi se stanje izboljšalo.

5.2 METODE PROUČEVANJA

Jeseni l.1989 so strokovnjaki gozdnih gospodarstev po navodilih Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo nabrali vzorce za laboratorijske raziskave vsebnosti žvepla v iglicah. Po ustaljeni metodi (KALAN,1989) so bili vzorci pripravljani za kemično analizo in določena jim je bila vsebnost žvepla. ŠOLAR je že pred nekaj leti ugotovil, da se naši analizni rezultati razlikujejo od avstrijskih in je zato prikrojil mejne vrednosti za razvrstitev vsebnosti žvepla v razrede (ŠOLAR,1986b). Ker smo želeli te vrednosti čim bolj objektivno spremeniti, smo izvedli posebno raziskavo, s katero smo ugotovili korelacijo analiznih rezultatov vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, ki jih z napravo SULMHOMAT 12 ADG ugotavljamo na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani, z enakimi rezultati, določenimi z aparaturo LECO SC-132, ki jo uporabljajo v Avstriji in drugod. Na osnovi te študije (KALAN,FÜRST,PEZDIRC,1990) smo za naše analize rezultate preračunali mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah. V tabelah 1 in 2 so prikazane mejne vrednosti za obe omenjeni analitski napravi.

Tabela 1: MEJNE VREDNOSTI ZA KLASIFIKACIJO VSEBNOSTI ŽVEPLA V ENOLETNIH IN DVOLETNIH SMREKOVIH IGLICAH (FBVA - Avstrija, LECO)

Razred	Vsebnost žvepla (S)v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,080	do 0,100
2	0,081 - 0,110	0,101 - 0,140
3	0,111 - 0,150	0,141 - 0,190
4	nad 0,151	nad 0,191

Tabela 2: MEJNE VREDNOSTI ZA KLASIFIKACIJO VSEBNOSTI ŽVEPLA V ENOLETNIH IN DVOLETNIH SMREKOVIH IGLICAH (IGLG - Ljubljana, SULMHOMAT)

Razred	Vsebnost žvepla (S)v %	
	enoletne iglice	dvoletne iglice
1	do 0,097	do 0,114
2	0,098 - 0,123	0,115 - 0,149
3	0,124 - 0,158	0,150 - 0,192
4	nad 0,159	nad 0,193

5.3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Z dosedanjimi raziskavami smo ugotovili, da se na točkah osnovne 16x16km bioindikacijske mreže vsebnost žvepla v iglicah spreminja. Iglice iz zahodnega in južnega dela Slovenije vsebujejo manj žvepla kot iglice iz ostalih delov Slovenije. Najbolj obremenjeni gozdovi z žveplom pa so v osrednjem delu Slovenije, v Šaleški dolini in na Koroškem (KALAN, ŠOLAR, 1987), v industrijsko bolj razvitih območjih, kot so Ljubljana, Maribor in Celje, v okolici večjih onesnaževalcev zraka z žveplovimi oksidi (Slovenj Gradec), pa tudi ponekod, kjer v bližini sicer ni večjih onesnaževalcev zraka z žveplom (Postojna, severovzhodna Slovenija) verjetno pa prihaja onesnaženje iz oddaljenejših industrijskih središč (KALAN, 1988).

Podatki z analiznimi rezultati vsebnosti žvepla v iglicah drevja na točkah osnovne 16x16km za 1.1989 so zbrani v tabeli 3. Poleg koordinat, s katerimi je podana lega posamezne točke v prostoru, so v tabeli še podatki o drevesni vrsti, od katere so bile odvzete iglice za laboratorijsko analizo, o poprečni vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, za razred vsebnosti

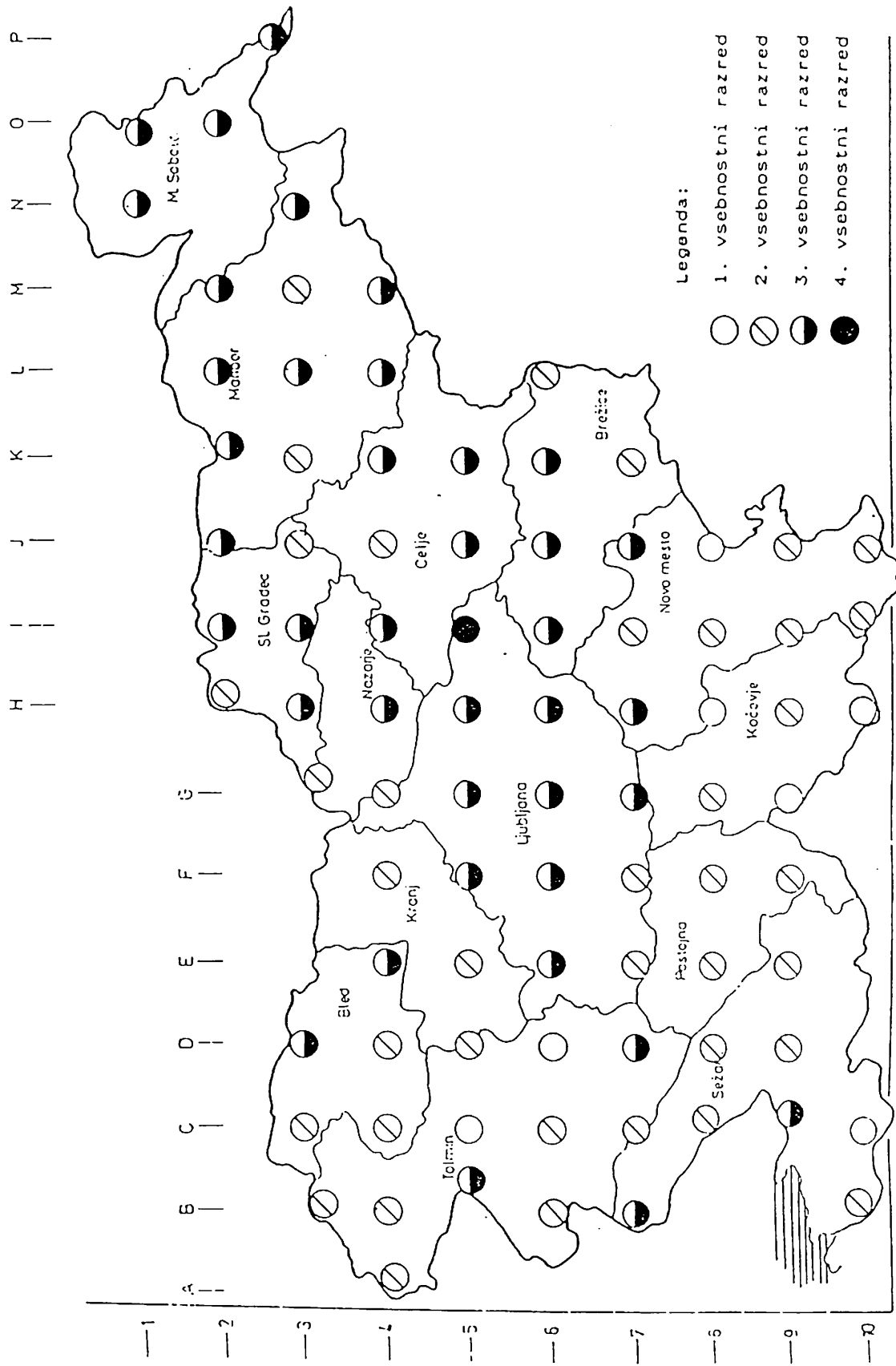
Tabela 3: PODATKI O VSEBNOSTI ŽVEPLA V IGLICAH
na točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.	
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni		
A	4	sm	0.112	0.098	2	1	2	2
B	3	sm	0.098	0.114	2	1	2	1
B	4	sm	0.105	0.103	2	1	2	1
B	5	sm	0.124	0.126	3	2	3	3
B	6	sm	0.112	0.111	2	1	2	2
B	7	č.bo.	0.128	0.121	3	2	3	3
B	10	č.bo.	0.106	0.128	2	2	2	2
C	3	sm	0.113	0.133	2	2	2	3
C	4	sm	0.117	0.113	2	1	2	2
C	5	sm	0.097	0.098	1	1	1	1
C	6	sm	0.112	0.116	2	2	2	2
C	7	sm	0.107	0.100	2	1	2	1
C	8	č.bo.	0.101	0.127	2	2	2	2
C	9	č.bo.	0.124	0.123	3	2	3	3
C	10	č.bo.	0.097	0.092	1	1	1	1
D	3	sm	0.114	0.151	2	3	3	3
D	4	sm	0.113	0.115	2	2	2	2
D	5	sm	0.111	0.130	2	2	2	3
D	6	sm	0.091	0.087	1	1	1	1
D	7	sm	0.130	0.152	3	3	3	4
D	8	č.bo.	0.106	0.117	2	2	2	2
D	9	sm	0.117	0.112	2	1	2	2
E	4	sm	0.132	0.150	3	3	3	4
E	5	sm	0.111	0.129	2	2	2	3
E	6	sm	0.132	0.143	3	2	3	4
E	7	sm	0.118	0.119	2	2	2	3
E	8	sm	0.105	0.104	2	1	2	1
E	9	č.bo.	0.112	0.109	2	1	2	2
F	4	sm	0.118	0.130	2	2	2	3
F	5	sm	0.138	0.167	3	3	3	5
F	6	sm	0.129	0.138	3	2	3	4
F	7	sm	0.100	0.118	2	2	2	2
F	8	sm	0.106	0.111	2	1	2	2
F	9	sm	0.099	0.112	2	1	2	1
G	3	sm	0.100	0.112	2	1	2	1
G	4	sm	0.111	0.129	2	2	2	3
G	5	sm	0.146	0.132	3	2	3	4
G	6	sm	0.148	0.170	3	3	3	5
G	7	sm	0.135	0.129	3	2	3	4
G	8	sm	0.107	0.107	2	1	2	2
G	9	sm	0.085	0.095	1	1	1	1
H	2	sm	0.118	0.126	2	2	2	3
H	3	sm	0.133	0.174	3	3	3	5
H	4	sm	0.149	0.153	3	3	3	5
H	5	sm	0.140	0.151	3	3	3	5

Tabela 3: (nadaljevanje)

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vseb. žvepla		Vsebnostni razred			Skup. rel. razr.
		1.let. %	2.let. %	1.let	2.let	skupni	
H 6	sm	0.120	0.150	2	3	3	4
H 7	sm	0.153	0.149	3	2	3	5
H 8	sm	0.096	0.099	1	1	1	1
H 9	sm	0.100	0.107	2	1	2	1
H 10	sm	0.093	0.093	1	1	1	1
I 2	sm	0.139	0.163	3	3	3	5
I 3	sm	0.145	0.179	3	3	3	5
I 4	sm	0.132	0.148	3	2	3	4
I 5	sm	0.171	0.195	4	4	4	5
I 6	sm	0.138	0.152	3	3	3	5
I 7	sm	0.121	0.130	2	2	2	3
I 8	sm	0.104	0.116	2	2	2	2
I 9	sm	0.100	0.107	2	1	2	1
I 10	sm	0.118	0.115	2	2	2	3
J 2	sm	0.135	0.157	3	3	3	5
J 3	sm	0.110	0.149	2	2	2	3
J 4	sm	0.122	0.128	2	2	2	3
J 5	sm	0.142	0.170	3	3	3	5
J 6	sm	0.141	0.147	3	2	3	4
J 7	sm	0.131	0.131	3	2	3	4
J 8	sm	0.093	0.096	1	1	1	1
J 9	sm	0.099	0.106	2	1	2	1
J 10	sm	0.102	0.101	2	1	2	1
K 2	sm	0.138	0.162	3	3	3	5
K 3	sm	0.100	0.125	2	2	2	2
K 4	sm	0.138	0.139	3	2	3	4
K 5	sm	0.126	0.140	3	2	3	4
K 6	sm	0.132	0.140	3	2	3	4
K 7	sm	0.119	0.111	2	1	2	2
L 2	sm	0.128	0.141	3	2	3	4
L 3	sm	0.148	0.136	3	2	3	4
L 4	sm	0.143	0.157	3	3	3	5
L 6	sm	0.111	0.111	2	1	2	2
M 2	sm	0.158	0.169	3	3	3	5
M 3	sm	0.123	0.131	2	2	2	3
M 4	sm	0.129	0.130	3	2	3	3
N 1	sm	0.135	0.146	3	2	3	4
N 3	sm	0.133	0.143	3	2	3	4
O 1	r.bo.	0.168	0.137	4	2	3	5
O 2	sm	0.153	0.166	3	3	3	5
P 3	r.bo.	0.145	0.147	3	2	3	5

č.bo. - črni bor (*Pinus nigra*)
r.bo. - rdeči bor (*Pinus silvestris*)
sm - smreka (*Picea abies*)



Skica 1: Skupni razredi vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic na bioindikacijski mreži (1989)

žvepla za enoletne, dvoletne iglice in za skupni vsebnostni ter skupni relativni razred. Podatki za skupne razrede vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah so prikazani tudi na skici 1.

Po podatkih za 1.1989 je stanje obremenjenosti slovenskih gozdov z žveplom podobno, kot smo ga že ugotovili v preteklih letih. Tudi tokrat se kaže najmanjša imisija žvepla v predelih zahodne in južne Slovenije, najbolj pa je obremenjena srednja Slovenija, kjer je tudi bioindikacijska točka z najvišjim skupnim razredom vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. V tem letu je bila to bioindikacijska točka I-5 (Čeče).

Tabela 4: BIOINDIKACIJSKA MREŽA SLOVENIJE - PORAZDELITEV BIOINDIKACIJSKIH TOČK PO SKUPNIH RAZREDIH VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC (Podatki za 1.1989)

Skupn.razr. vsebn.žvepla	Štev. točk	%	enoletne iglice			dvoletne iglice		
			popr.	min.	max.	popr.	min.	max.
1	7	8,2	0,093	0,085	0,097	0,094	0,087	0,099
2	39	45,3	0,109	0,098	0,123	0,117	0,098	0,149
3	39	45,3	0,137	0,114	0,168	0,148	0,121	0,179
4	1	1,2	0,171	0,171	0,171	0,195	0,195	0,195
Skupaj	86	100,0	0,122	0,085	0,171	0,130	0,087	0,195
Poprečni razred: 2,4								

Od 86 bioindikacijskih točk (tabela 4) je samo 7 (razred 1; 8,2%) takšnih, kjer drevje ne more biti poškodovano zaradi imisije žvepla, 39 (razred 2; 45,3%) točk leži v območjih, kjer vpliva imisij ne moremo izključiti, kajti mestoma lahko vsebnost žvepla preseže mejne vrednosti 0,123%S za enoletne oz. 0,149%S za dvoletne iglice. Na slabi polovici bioindikacijskih točk (40 točk; 47,7%) vsebnost žvepla v iglicah preseže omenjene mejne vrednost, od tega je 39 točk (razred 3; 45,3%) lažje, ena točka pa srednje do močno obremenjena z žveplom (razred 4).

Poprečno so z žveplom najmanj obremenjena gozdnogospodarska območja Kočevje, Postojna, Tolmin, Novo mesto in Sežana (glej tabelo 5), srednje so obremenjena območja Bled, Kranj, Brežice, Slovenj Gradec in Maribor, najbolj pa so obremenjena območja Nazarje, Celje, Ljubljana in Murska Sobota. Preseneča predvsem gozdnogospodarsko območje Murska Sobota kot poprečno najbolj obremenjeno gozdnogospodarsko območje z žveplom, saj v tem območju ni večjih onesnaževalcev zraka z žveplom.

Tabela 5: BIOINDIKACIJSKA MREŽA SR SLOVENIJE - PORAZDELITEV TOČK PO RELATIVNIH RAZREDIH VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC (Podatki za 1.1989)

Gozdnogospodarsko območje	Relativni vsebnostni razred žvepla					poprečni
	1	2	3	4	5	
Tolmin	5	3	1	1	-	1,8
Bled	-	2	2	1	-	2,8
Kranj	-	-	3	-	-	3,0
Ljubljana	-	1	1	5	4	4,1
Postojna	2	1	-	-	-	1,3
Kočevje	3	1	-	-	-	1,3
Novo mesto	5	1	2	-	1	2,0
Brežice	-	2	-	3	1	3,5
Celje	-	-	1	3	1	4,0
Nazarje	-	-	1	-	1	4,0
Slovenj Gradec	1	-	2	-	3	3,7
Maribor	-	1	2	3	3	3,9
Murska Sobota	-	-	-	1	4	4,8
Sežana	1	5	2	-	-	2,1
S k u p a j	17	17	17	17	18	86

Ker z bioindikacijsko metodo že od 1.1985 spremljamo obremenjenost gozdov z žveplom, lahko na osnovi teh raziskav opažamo trende imisije žvepla. Ker smo na osnovi posebne raziskave (KALAN, FÜRST, PEZDIRC, 1990) spremenili mejne vrednosti za razvrščanje vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah v vsebnostne razrede, smo podatke za pretekla leta preračunali po novih mejnih vrednostih. Preglednice s podatki so v prilogi. Podatke o razvrstitvi bioindikacijskih točk v vsebnostne razrede žvepla smo s takšnim preračunavanjem poenotili in pripravili za primerjavo. Iz njih smo nato za vsako leto posebej izračunali poprečne skupne razrede vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic za posamezna gozdnogospodarska območja in za vso osnovno bioindikacijsko mrežo 16x16km (tabela 6).

L.1985 sicer še niso bile vse točke osnovne 16x16km bioindikacijske mreže postavljene na terenu (na terenu je bilo takrat izbranih samo 55 bioindikacijskih točk). Vzorci za analizo niso bili nabrani na gozdnogospodarskih območjih Ljubljana, Postojna, Murska Sobota in Sežana ter na nekaj točkah gozdnogospodarskih območij Tolmin in Kočevje. Zato za 1.1985 nimamo popolnih podatkov. S primerjalno analizo smo ugotovili, da se 1.1986 in 1987 poprečne vsebnosti žvepla za enoletne in dvoletne iglice na vseh 86 točkah bioindikacijske mreže niso razlikovale od poprečnih vsebnosti žvepla na tistih 55 točkah (tabela 7), ki so bile vzorčene 1.1985, 1.1988 pa sta se razlikovali samo poprečni vsebnosti žvepla v enoletnih iglicah. Zato lahko tudi poprečne podatke iz 1.1985 primerjamo s podatki drugih let.

Tabela 6: POPREČNI SKUPNI RAZREDI VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC PO POSAMEZNIH GOZNOGOSPODARSKIH OBMOČJIH V LETIH 1985-1989

Gozdnogospodarsko območje	Poprečni skupni vsebnostni razred žvepla				
	1985	1986	1987	1988	1989
1. Tolmin	(1,8)"	1,6	1,6	2,3	2,0
2. Bled	2,0	2,0	1,8	2,2	2,4
3. Kranj	2,0	2,0	1,7	2,3	2,0
4. Ljubljana	-	2,4	2,4	2,4	2,9
5. Postojna	-	2,0	2,0	2,3	2,0
6. Kočevje	(1,7)	1,8	1,8	2,0	1,5
7. Novo mesto	1,9	1,7	1,7	1,9	1,9
8. Brežice	2,2	1,7	1,7	2,2	2,7
9. Celje	2,2	2,2	2,2	2,8	2,8
10. Nazarje	2,0	2,0	1,5	2,5	2,5
11. Slovenj Gradec	2,8	2,5	2,2	3,2	2,5
12. Maribor	2,2	1,9	2,0	2,4	2,8
13. Murska Sobota	-	2,0	2,0	2,8	3,0
14. Kraško - Sežana	-	1,4	1,4	-	2,1
Skupaj	(2,1)	1,9	1,9	(2,4)	2,4

" V oklepaju navedene vrednosti so poprečje nepopolnega števila bioindikacijskih točk na posameznem gozdnogospodarskem območju

Tabela 7: PRIMERJAVA POPREČNIH VSEBNOSTI ŽVEPLA ZA 55 BIOINDIKACIJSKIH TOČK, KI SO BILE VZORČENE L.1985 IN POPREČNIH VREDNOSTI ZA VSEH 86 BIOINDIKACIJSKIH TOČK

Leto	Vsebnost žvepla			
	enoletne iglice		dvoletne iglice	
	55 točk	86 točk	55 točk	86 točk
1986	0,107	0,107	0,113	0,113
1987	0,105	0,106	0,111	0,110
1988	0,120	0,110	0,111	0,110

Poprečni skupni vsebnostni razred žvepla za Slovenijo je bil l.1985 2,1. V naslednjih dveh letih (l.1986 in 1987) se je obremenjenost gozdov z žveplom zmanjšala. Ti dve leti je bil poprečni skupni vsebnostni razred žvepla 1,9. Že takrat smo ocenjevali, da je zmanjšanje emisije verjetno le posledica ugodnejših vremenskih razmer (večja vetrovnost, mile zime), saj v Sloveniji še niso izvedli nobenih večjih ukrepov za zmanjševanje emisije žveplovega dioksida (namestitvev naprav za razžveplevanje plinov, uporaba goriv z nižjo vsebnostjo žvepla, ...). Naša dom-

neva se je potrdila, saj se je v naslednjih letih imisija žvepla povečala in je za obe leti (1988 in 1989) poprečni vsebnostni razred žvepla 2,4.

Imisijske razmere žvepla pa so bile po posameznih gozdnogospodarskih območjih različne. Poprečni vsebnostni razredi žvepla po gozdnogospodarskih območjih nam prikazujejo imisijske razmere v posameznem območju po posameznih letih. Ponekod so spremembe bolj ali manj sledile spremembam, ki smo jih ugotovili za vso Slovenijo (Tolmin, Bled, Kranj, Novo mesto, Slovenj Gradec, Maribor). Zadnje leto se je imisija nekoliko zmanjšala na območju Postojne in Kočevja. Ponekod je bila imisija prva tri leta približno enaka, zadnji dve leti pa se je občutno poslabšala (Brežice, Celje, Nazarje, Ljubljana). Najbolj pa se je povečala obremenitev z žveplom na gozdnogospodarskem območju Murska Sobota. Imisija žvepla se je 1.1989 povečala tudi na kraškem gozdnogospodarskem območju, kjer pa je še vedno razmeroma majhna.

Medsebojne primerjave med posameznimi gozdnogospodarskimi območji na osnovi poprečnih vsebnostnih razredov niso najbolj primerne, ker so te vrednosti izračunane le iz strukture skupnih vsebnostnih razredov žvepla v posameznem gozdnogospodarskem območju ne glede na to, ali so vsebnosti žvepla za posamezno bioindikacijsko točko v spodnjem ali zgornjem območju mejnih vrednosti za posamezni vsebnostni razred. Za takšno primerjavo so bolj primerni relativni vsebnostni razredi žvepla, pri katerih se prav vsaka vrednost vsebnosti žvepla, tako za enoletne kot za dveletne

Tabela 8: POPREČNI RELATIVNI RAZREDI VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC PO POSAMEZNIH GOZNOGOSPODARSKIH OBMOČJIH V LETIH 1985-1989

Gozdnogospodarsko območje	Poprečni skupni relativni razred žvepla				
	1985	1986	1987	1988	1989
1. Tolmin	(1,9)"	2,3	2,1	2,7	1,8
2. Bled	3,6	3,6	3,2	2,8	2,8
3. Kranj	3,3	4,3	3,3	3,3	3,0
4. Ljubljana	-	4,2	4,3	3,5	4,1
5. Postojna	-	2,0	3,3	2,0	1,3
6. Kočevje	(1,0)	2,0	1,8	1,8	1,3
7. Novo mesto	2,6	2,3	2,3	1,8	2,0
8. Brežice	2,4	2,8	2,3	2,8	3,5
9. Celje	3,6	3,8	3,6	3,6	4,0
10. Nazarje	3,0	3,0	2,0	3,0	4,0
11. Slovenj Gradec	4,8	4,7	3,8	4,7	3,7
12. Maribor	3,4	2,9	4,3	3,2	3,9
13. Murska Sobota	-	3,2	3,4	4,0	4,8
14. Kraško - Sežana	-	1,6	1,6	-	2,1

iglice, medsebojno primerja in po svoji vrednosti uvršča v primerjalno vrsto. Iz porazdelitve relativnih razredov po posameznih gozdnogospodarskih območjih so za vsako območje posebej izračunani poprečni skupni relativni razredi žvepla enoletnih in dvoletnih iglic (tabela 8).

Razen kraškega gozdnogospodarskega območja so najmanj obremenjena z žveplom še območja Tolmin, Postojna, Kočevje in Novo mesto. Najbolj onesnažena z žveplom pa so območja Ljubljana, Celje, Nazarje, Slovenj Gradec in Murska Sobota. V zadnjih dveh letih se je zelo povečala imisija žvepla na območju Murske Sobote, ki je bilo l.1988 drugo najbolj, l.1989 pa najbolj onesnaženo gozdnogospodarsko območje z žveplom v Sloveniji. Zanimivo je tudi gozdnogospodarsko območje Nazarje, na katerem sta samo dve točki osnovne 16x16km bioindikacijske mreže. To območje je bilo l.1987 med najmanj, l.1989 pa med najbolj onesnaženimi območji v Sloveniji.

5.4 POVZETEK

Z metodo bioindikacije onesnaženosti gozdov z žveplom je bilo ugotovljeno, da je bila l.1989 najmanjša imisija žvepla v zahodni in južni Sloveniji, najbolj pa je z žveplom obremenjena osrednja Slovenija. Od 86 točk osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže je samo 8% takšnih, kjer drevje ne more biti poškodovano zaradi imisije žvepla, 45% točk je v območjih, kjer vpliva imisij ne moremo izključiti, kajti mestoma lahko vsebnost žvepla preseže mejne vrednosti, pri katerih se lahko pojavljajo poškodbe gozdnega drevja zaradi žvepla. Na slabi polovici bioindikacijskih točk vsebnost žvepla presega mejne vrednosti, od tega je 45% točk lažje, ena točka pa srednje do močno obremenjena z žveplom. Poprečno so z žveplom najmanj obremenjena gozdnogospodarska območja Kočevje, Postojna, Tolmin, Novo mesto in Sežana, srednje obremenjena so območja Bled, Kranj, Brežice, Slovenj Gradec in Maribor, najbolj obremenjena pa so območja Nazarje, Celje, Ljubljana in Murska Sobota.

Prvi rezultati o vsebnosti žvepla v iglicah na točkah osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže so bili znani za l.1985. Takrat je bil poprečni skupni vsebnostni razred žvepla za Slovenijo 2,1. V letih 1986 in 1987 se je obremenjenost z žveplom nekoliko zmanjšala (poprečni skupni vsebnostni razred žvepla enoletnih in dvoletnih iglic 1,9), l.1988 in 1989 pa se je obremenjenost gozdov z žveplom povečala (poprečni skupni vsebnostni razred žvepla 2,4). Enako, kot je bilo ugotovljeno za Slovenijo, so se spreminjale porečne obremenjenosti z žveplom tudi na gozdnogospodarskih območjih Tolmin, Bled, Kranj, Novo mesto, Slovenj Gradec in Maribor. L.1989 se je imisija žvepla nekoliko zmanjšala na območjih Postojna in Kočevje. Na območjih Brežice, Celje,

Nazarje, Ljubljana je bila imisija žvepla v l.1985-1987 približno enaka, zadnji dve leti pa se je precej povečala. Zadnje leto se je obremenjenost gozdov z žveplom najbolj povečala na gozdnogospodarskem območju Murska Sobota, nekoliko pa tudi na kraškem gozdnogospodarskem območju Sežana, kjer pa je še vedno razmeroma majhna.

Različne obremenjenosti gozdov z žveplom v posameznih letih so verjetno povezane z različnimi vremenskimi razmerami posameznih let.

5.5 ZUSAMMENFASSUNG

WALDBELASTUNG DURCH SCHWEFEL IM 1989

Mittels der Bioindikationsmethode der Waldverschmutzung durch Schwefel wurde es festgestellt, dass es die niedrigste Schwefelimmision im 1989 im westlichen und südlichen Gebiet Sloweniens gab und dass zentrale Gebiet Sloweniens am schärfsten mit Schwefel belastet wurde. Von den 86 Punkten des Grundbioindikationsnetzes von 16x16km gibt es nur 8% solche, wo die Bäume wegen der Schwefelimmision nicht beschädigt werden können. 45% der Punkte befinden sich in Gebieten, wo der Einfluss der Immisionen nicht ausgeschlossen werden kann, denn stellenweise kann der Schwefelgehalt grösser sein als die Grenzwerte sind, bei denen Waldschäden wegen des Schwefels auftreten können. In weniger als die Hälfte der Bioindikationspunkte ist der Schwefelgehalt grösser als die Grenzwerte sind, wobei 45% der Punkte leicht und ein Punkt stark bis mittel stark mit Schwefel belastet werden. Durchschnittlich sind die forstwirtschaftlichen Gebiete von Kočevje, Postojna, Tolmin, Novo mesto und Sežana am wenigsten mit Schwefel belastet, mittelbelastet sind die Gebiete von Bled, Kranj, Brežice, Slovenj Gradec und Maribor und die meist belasteten Gebiete sind diejenigen von Nazarje, Celje, Ljubljana und Murska Sobota.

Die ersten Resultate über den Schwefelgehalt in Nadeln in den Punkten des Grundbioindikationsnetzes von 16x16 km waren schon 1985 bekannt. Damals war die durchschnittliche Gesamtklasse des Schwefelgehalts in Slowenien 2,1. 1986 und 1987 wurde die Schwefelbelastung etwas niedriger (die durchschnittliche Gesamtklasse des Schwefelgehalts der einjährigen und zweijährigen Nadel war 1,9), 1988 und 1989 wurde die Waldbelastung durch Schwefel wieder grösser (die durchschnittliche Gesamtklasse des Schwefelgehalts war 2,4). So wie im ganzen Slowenien, veränderten sich auch die durchschnittlichen Schwefelbelastungen in forstwirtschaftlichen Gebieten von Tolmin, Bled, Kranj, Novo mesto, Slovenj Gradec und Maribor. 1989 wurde die Schwefelimmision ein wenig geringer in den Gebieten von Postojna

und Kočevje. In den Gebieten von Brežice, Celje, Nazarje, Ljubljana war die Schwefelmission in Jahren von 1985-1987 etwa unverändert, in den letzten zwei Jahren ist sie jedoch stark gesunken. Im letzten Jahr ist das besonders der Fall im forstwirtschaftlichen Gebiet von Murska Sobota und zum Teil auch im Gebiet von Sežana, wo die Schwefelmission noch immer verhältnismässig niedrig ist.

Verschiedene Werte der Waldbelastung durch Schwefel in einzelnen Jahren werden wohl von den verschiedenen Wetterverhältnissen in einzelnen Jahren abhängig sein.

5.6 LITERATURA

- KALAN, J., ŠOLAR, M., 1987: Obremenjenost gozdov z žveplom. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji l. 1987. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, str. 28-31
- KALAN, J., 1988: Obremenjenost gozdov z žveplom. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji l. 1987 - nadaljevanje. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, str. 19-27
- KALAN, J., 1989: Obremenjenost slovenskih gozdov z žveplom. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, str. 99-120
- KALAN, J., FÜRST, A., PEZDIRC, N., 1990: Korelacija analizičnih rezultatov vsebnosti žvepla določenih z aparaturama SULMHOMAT 12-ADG in LECO SC-132. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana (tipkopis)
- MIKULIČ, V., 1987: Računalniški program za krmiljenje izvajanja obdelave analizičnih podatkov o vsebnosti žvepla v iglicah. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
- ŠOLAR, M., 1986a: Onesnaževanje zraka in propadanje gozdov v Sloveniji. Gozd in okolje - FOREN 86, Jugoslovansko posvetovanje - 14. in 15. maj 1986. Ljubljana, str. 57-84
- ŠOLAR, M., 1986b: Umiranje gozdov in raba lesa. Posvetovanje v Mariboru 25. oktobra 1986. Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije. Ljubljana

5.7 PRILOGE

MEJNE VREDNOSTI ZA SKUPNI RAZRED VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN
DVOLETNIH IGLIC

Skupni razred vsebnosti žvepla	Vsota razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic
1	2
2	3 in 4
3	5 in 6
4	7 in 8

BIOINDIKACIJSKA MREŽA SLOVENIJE
PORAZDELITEV BIOINDIKACIJSKIH TOČK PO SKUPNIH RAZREDIH
VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC

Skupn. razr. vsebn. žvepla	Štev. točk	%	enoletne iglice			dvoletne iglice				
			popr.	min.	max.	popr.	min.	max.		

1985										
1	6	10,9	0,090	0,084	0,095	0,095	0,085	0,100		
2	38	69,1	0,110	0,098	0,127	0,115	0,098	0,143		
3	11	20,0	0,133	0,124	0,145	0,147	0,133	0,163		
4	0	-	-	-	-	-	-	-		
Skupaj			55	100,0	0,112	0,084	0,145	0,119	0,085	0,163
Poprečni razred: 2,1										

1986										
1	18	20,9	0,087	0,075	0,097	0,090	0,067	0,110		
2	58	67,5	0,109	0,098	0,123	0,114	0,083	0,145		
3	10	11,6	0,136	0,127	0,146	0,150	0,127	0,164		
4	-	-	-	-	-	-	-	-		
Skupaj			86	100,0	0,107	0,075	0,146	0,113	0,067	0,164
Poprečni razred: 1,9										

1987										
1	22	25,6	0,088	0,077	0,097	0,089	0,075	0,110		
2	54	62,8	0,108	0,098	0,123	0,113	0,085	0,140		
3	10	11,6	0,136	0,125	0,155	0,145	0,129	0,164		
4	-	-	-	-	-	-	-	-		
Skupaj			86	100,0	0,106	0,077	0,155	0,110	0,075	0,164
Poprečni razred: 1,9										

1988										
1	2	2,6	0,091	0,090	0,091	0,090	0,089	0,090		
2	46	59,0	0,112	0,099	0,131	0,121	0,093	0,145		
3	28	35,9	0,134	0,111	0,154	0,147	0,122	0,182		
4	2	2,5	0,165	0,158	0,172	0,204	0,195	0,212		
Skupaj			78	100,0	0,121	0,090	0,172	0,132	0,089	0,212
Poprečni razred: 2,4										

1989										
1	7	8,2	0,093	0,085	0,097	0,094	0,087	0,099		
2	39	45,3	0,109	0,098	0,123	0,117	0,098	0,149		
3	39	45,3	0,137	0,114	0,168	0,148	0,121	0,179		
4	1	1,2	0,171	0,171	0,171	0,195	0,195	0,195		
Skupaj			86	100,0	0,122	0,085	0,171	0,130	0,087	0,195
Poprečni razred: 2,4										

PORAZDELITEV BIOINDIKACIJSKIH TOČK PO SKUPNIH RAZREDIH
VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGL
PO GOZDNOGOSPODARSKIH OBMOČJIH

Gozdnogospodarsko območje	1985					1986				
	Skupni vsebnostni razred žvepla					Skupni vsebnostni razred žvepla				
	1	2	3	4	Popr.	1	2	3	4	Popr.
Tolmin	2	6	-	-	(1,9)	4	6	-	-	2,3
Bled	-	5	-	-	3,6	-	5	-	-	3,6
Kranj	-	3	-	-	3,3	-	3	-	-	4,3
Ljubljana	-	-	-	-	-	-	7	4	-	4,2
Postojna	-	-	-	-	-	-	3	-	-	2,0
Kočevje	1	2	-	-	(1,8)	1	3	-	-	2,0
Novo mesto	3	4	2	-	2,6	4	4	1	-	2,3
Brežice	-	4	1	-	2,4	2	4	-	-	2,8
Celje	-	4	1	-	3,6	-	4	1	-	3,8
Nazarje	-	2	-	-	3,0	-	2	-	-	3,0
Slovenj Gradec	-	1	5	-	4,8	-	3	3	-	4,7
Maribor	-	7	2	-	3,4	2	6	1	-	2,9
Murska Sobota	-	-	-	-	-	-	5	-	-	3,2
Sežana	-	-	-	-	-	5	3	-	-	1,6
S k u p a j					(2,1)					1,9
N	6	38	11	-	55	18	58	10	-	86
%	11	69	20	-	100	21	67	12	-	100
%		80		20			88		12	

Gozdnogospodarsko območje	1987					1988				
	Skupni vsebnostni razred žvepla					Skupni vsebnostni razred žvepla				
	1	2	3	4	Popr.	1	2	3	4	Popr.
Tolmin	4	6	1	-	2,1	-	7	3	-	2,7
Bled	1	4	-	-	3,2	-	4	1	-	2,8
Kranj	1	2	-	-	3,3	-	2	1	-	3,3
Ljubljana	-	7	4	-	4,3	-	7	4	-	3,5
Postojna	-	3	-	-	3,3	-	2	1	-	2,0
Kočevje	1	3	-	-	1,8	-	4	-	-	1,8
Novo mesto	4	4	1	-	2,3	2	6	1	-	1,8
Brežice	2	4	-	-	2,3	-	5	1	-	2,8
Celje	1	2	2	-	3,6	-	2	2	1	3,6
Nazarje	1	1	-	-	2,0	-	1	1	-	3,0
Slovenj Gradec	1	3	2	-	3,8	-	-	5	1	4,7
Maribor	1	7	1	-	4,3	-	5	4	-	3,2
Murska Sobota	-	5	-	-	3,4	-	1	4	-	4,0
Sežana	5	3	-	-	1,6	-	-	-	-	-
S k u p a j					1,9					(2,4)
N	22	54	10	-	86	2	46	28	2	78
%	26	63	11	-	100	3	59	36	2	100
%		89		11			62		38	

PORAZDELITEV BIOINDIKACIJSKIH TOČK PO SKUPNIH RAZREDIH
VSEBNOSTI ŽVEPLA ENOLETNIH IN DVOLETNIH IGLIC
PO GOZDNOGOSPODARSKIH OBMOČJIH
(nadaljevanje)

Gozdnogospodarsko območje	1989				Popr.
	Skupni	vsebnostni	razred	žvepla	
	1	2	3	4	
Tolmin	2	6	2	-	2,0
Bled	-	3	2	-	2,4
Kranj	-	3	-	-	2,9
Ljubljana	-	2	8	1	2,0
Postojna	-	3	-	-	1,5
Kočevje	2	2	-	-	1,9
Novo mesto	2	6	1	-	2,7
Brežice	-	2	4	-	2,8
Celje	-	1	4	-	2,5
Nazarje	-	1	1	-	2,5
Slovenj Gradec	-	3	3	-	2,5
Maribor	-	2	7	-	2,8
Murska Sobota	-	-	5	-	3,0
Sežana	1	5	2	-	2,1
S k u p a j					2,4
N	7	39	39	-	86
%	8	45	45	2	100
%		53		47	